



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I594828 B

(45) 公告日：中華民國 106 (2017) 年 08 月 11 日

(21) 申請案號：105102654 (22) 申請日：中華民國 99 (2010) 年 05 月 27 日
 (51) Int. Cl. : **B23K26/02 (2014.01)** **H01S3/10 (2006.01)**
 (30) 優先權：2009/05/28 美國 61/181,889
 (71) 申請人：伊雷克托科學工業股份有限公司 (美國) ELECTRO SCIENTIFIC INDUSTRIES, INC.
 (US)
 美國
 (72) 發明人：昂瑞斯 馬克 A UNRATH, MARK A. (US)；喬丹 威廉 J JORDENS, WILLIAM
 J. (US)；埃斯梅爾 詹姆斯 ISMAIL, JAMES (US)；松本久 MATSUMOTO,
 HISASHI (JP)；萊伯格 布莱恩 強漢森 LINEBURG, BRIAN JONATHAN (US)
 (74) 代理人：閻啟泰；林景郁
 (56) 參考文獻：
 CN 101035647A US 5084883
 US 2006/0039419A1 US 2008/0017618A1
 審查人員：林桂忠
 申請專利範圍項數：18 項 圖式數：40 共 103 頁

(54) 名稱

應用於雷射處理工件中的特徵的聲光偏轉器及相關雷射處理方法

ACOUSTO-OPTIC DEFLECTOR APPLICATIONS IN LASER PROCESSING OF FEATURES IN A WORKPIECE, AND RELATED LASER PROCESSING METHOD

(57) 摘要

一種雷射處理系統，用於將一工件微機械加工，包括：一雷射源，以產生雷射脈衝用於處理在該工件中之特徵；一電流計驅動(galvo)子系統，用於沿著相對於該工件表面之一處理軌跡，給予雷射射束點位置之第一相對移動；以及一聲光偏轉器(AOD)子系統，其沿著垂直於該處理軌跡之方向，將一雷射射束點有效地加寬。該 AOD 子系統可以包括 AOD 與電光偏轉器之組合。該 AOD 子系統可以改變該雷射脈衝之強度輪廓，作為沿著顫動方向偏轉位置之函數，而在該顫動方向中將該特徵選擇地成形。可以使用該成形將該工件上之特徵相交。該 AOD 子系統亦可提供：掃瞄、電流計誤差位置修正、功率調變及/或透過透鏡觀看以及對準該工件。

A laser processing system for micromachining a workpiece includes a laser source to generate laser pulses for processing a feature in a workpiece, a galvanometer-driven (galvo) subsystem to impart a first relative movement of a laser beam spot position along a processing trajectory with respect to the surface of the workpiece, and an acousto-optic deflector (AOD) subsystem to effectively widen a laser beam spot along a direction perpendicular to the processing trajectory. The AOD subsystem may include a combination of AODs and electro-optic deflectors. The AOD subsystem may vary an intensity profile of a laser pulses as a function of deflection position along a dither direction to selectively shape the feature in the dither direction. The shaping may be used to intersect features on the workpiece. The AOD subsystem may also provide rastering, galvo error position correction, power modulation, and/or through-the-lens viewing of and alignment to the workpiece.

指定代表圖：

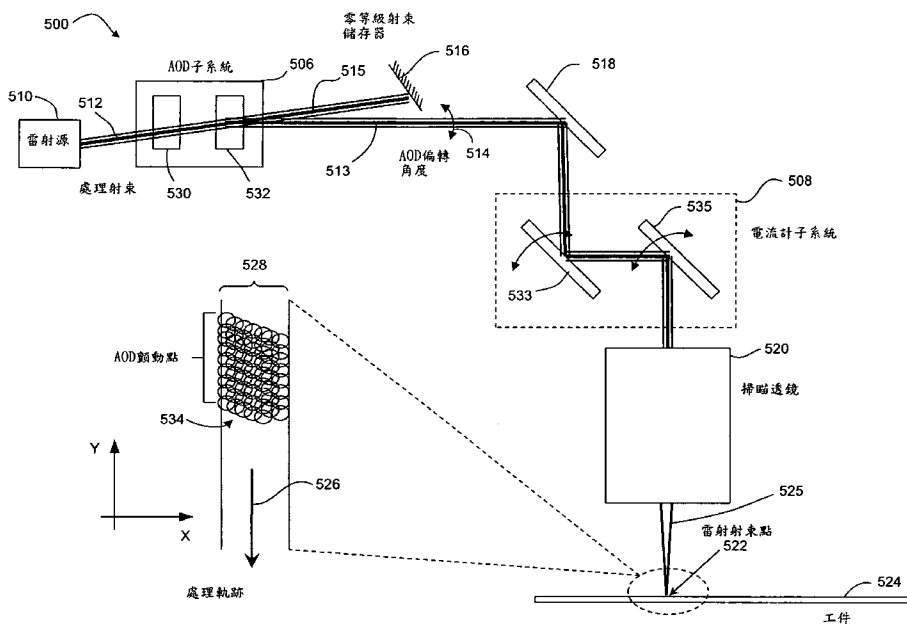


圖5

符號簡單說明：

- 500 . . . 系統
- 506 . . . 聲光偏轉器 (AOD)子系統
- 508 . . . 電流計子系統
- 510 . . . 雷射源
- 512 . . . 處理射束
- 513 . . . 第一等級射束
- 514 . . . 聲光偏轉器 (AOD)偏轉角度
- 515 . . . 零等級射束
- 516 . . . 射束儲存器
- 518 . . . 固定鏡
- 520 . . . 掃瞄透鏡
- 522 . . . 雷射射束點
- 524 . . . 工件
- 525 . . . 聚焦雷射射束
- 526 . . . 處理軌跡
- 528 . . . 溝渠
- 530 . . . 第一聲光偏轉器(AOD)
- 530 . . . 第二聲光偏轉器(AOD)
- 533 . . . 第一電流計鏡
- 534 . . . 雷射射束點
- 535 . . . 第二電流計鏡

發明摘要

※ 申請案號：105102654 (由99116980合審11)
 ※ 申請日：99.5.27 ※IPC 分類：B23K 26/02 (2014.01)
 H01S 3/10 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

應用於雷射處理工件中的特徵的聲光偏轉器及相關雷射處理方法

ACOUSTO-OPTIC DEFLECTOR APPLICATIONS IN LASER

PROCESSING OF FEATURES IN A WORKPIECE, AND RELATED

LASER PROCESSING METHOD

【中文】

一種雷射處理系統，用於將一工件微機械加工，包括：一雷射源，以產生雷射脈衝用於處理在該工件中之特徵；一電流計驅動(galvo)子系統，用於沿著相對於該工件表面之一處理軌跡，給予雷射射束點位置之第一相對移動；以及一聲光偏轉器(AOD)子系統，其沿著垂直於該處理軌跡之方向，將一雷射射束點有效地加寬。該 AOD 子系統可以包括 AOD 與電光偏轉器之組合。該 AOD 子系統可以改變該雷射脈衝之強度輪廓，作為沿著顫動方向偏轉位置之函數，而在該顫動方向中將該特徵選擇地成形。可以使用該成形將該工件上之特徵相交。該 AOD 子系統亦可提供：掃瞄、電流計誤差位置修正、功率調變及/或透過透鏡觀看以及對準該工件。

【英文】

A laser processing system for micromachining a workpiece includes a laser source to generate laser pulses for processing a feature in a workpiece, a galvanometer-driven (galvo) subsystem to impart a first relative movement of a

laser beam spot position along a processing trajectory with respect to the surface of the workpiece, and an acousto-optic deflector (AOD) subsystem to effectively widen a laser beam spot along a direction perpendicular to the processing trajectory. The AOD subsystem may include a combination of AODs and electro-optic deflectors. The AOD subsystem may vary an intensity profile of a laser pulses as a function of deflection position along a dither direction to selectively shape the feature in the dither direction. The shaping may be used to intersect features on the workpiece. The AOD subsystem may also provide rastering, galvo error position correction, power modulation, and/or through-the-lens viewing of and alignment to the workpiece.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 5 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

- 500 系統
- 506 聲光偏轉器(AOD)子系統
- 508 電流計子系統
- 510 雷射源
- 512 處理射束
- 513 第一等級射束
- 514 聲光偏轉器(AOD)偏轉角度
- 515 零等級射束
- 516 射束儲存器
- 518 固定鏡
- 520 掃瞄透鏡
- 522 雷射射束點
- 524 工件
- 525 聚焦雷射射束
- 526 處理軌跡
- 528 溝渠
- 530 第一聲光偏轉器(AOD)
- 530 第二聲光偏轉器(AOD)
- 533 第一電流計鏡
- 534 雷射射束點
- 535 第二電流計鏡

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

應用於雷射處理工件中的特徵的聲光偏轉器及相關雷射處理方法

ACOUSTO-OPTIC DEFLECTOR APPLICATIONS IN LASER

PROCESSING OF FEATURES IN A WORKPIECE, AND RELATED

LASER PROCESSING METHOD

【技術領域】

【0001】 本發明有關介電質或其他材料之雷射處理。

【先前技術】

【0002】 通常使用介電質與導電材料之雷射處理，以去除電子組件中之細微特徵。例如，可以將晶片封裝基板雷射處理，以便將信號從半導體晶粒傳送之球格柵陣列或類似封裝。經雷射處理特徵可以包括：信號跡線、接地跡線以及微通孔(以連接封裝層間之信號跡線)。最近之設計趨勢為將信號與接地跡線合併於一單層上，以嚴密控制信號阻抗，同時減少在晶片封裝中層之數目。此種方式會需要小的跡線尺寸與間隔(例如，大約 10 微米(μm)至大約 25 μm)，以及每封裝長的跡線長度(例如，大約 5 m 至大約 10m)。為了經濟節省地建構晶片封裝，此等特徵被去除之速率可能非常快(例如，從大約 1 米/秒(m/s)至大約 10m/s)。某些封裝例如可以在大約 0.5 秒至大約 5 秒中處理，以符合客戶產量目標。

【0003】 晶片封裝另一有用之特徵為：以經控制之深度變化提供相交跡線。例如，接地跡線可在整個樣式中在數個點分支。在各分支相交處，

此等跡線可少於大約 $\pm 10\%$ 所想要深度變化而去除。在正常情況，如果兩個溝渠在一點被去除，則此去除射束之雙曝露會產生大約 100%之深度變化。

【0004】 晶片封裝另一有用之特徵為：可以在封裝之不同部份提供可變跡線寬度，以控制阻抗、或提供用於層間連接通孔之墊。跡線寬度控制應以減少或最小干擾提供給主要跡線之高速處理。

【0005】 亦可以有，使用減少或最小時間、以高速處理任何尺寸與形狀之特徵，以改變此特性之特徵。例如，此等特徵可以包括：具有各種直徑及/或側壁錐度(taper)、正方形或矩形墊、配置基準及/或文數字符號之微通孔。在傳統上為了處理特徵例如微通孔而設計光學系統，以提供可變直徑之成形強度輪廓(例如，平頂射束)，或純粹高斯(Gaussian)射束。當改變雷射處理點特徵時，此等光學系統具有重大時間延遲(例如，大約 10 毫秒(ms)至大約 10 秒(s))。

【0006】 亦有其他問題，其與建構一機器以符合以上說明處理參數有關。例如，由於路由需求，跡線可以在整個封裝中改變方向。當以高速處理跡線時，此軌跡角度中之變化可以須要在非常短的時間尺度之高射束位置加速。當例如以高速(例如，大約 1m/s 至大約 10m/s)操作而用於高產量時，雷射處理可以容易地超過射束定位器之動態限制。

【0007】 此種加速度及/或速度在傳統雷射處理機器中難以達成，其依賴射束定位技術，例如：線性平台、與鏡電流計射束偏轉器(在此稱為“galvo”或“galvo 鏡”)之組合，以及靜態(或緩慢改變)射束調整光學裝置，其無法在使用於此種型式處理之時間尺度(例如在大約 1 微秒(μs)至 100 微秒

(μs)之等級)中響應。

【0008】 實際之去除過程亦為考慮因素。可以使用具有高尖峰功率之雷射脈衝以去除介電材料，而同時將例如熔化、斷裂、以及基板損壞之熱副效應最小化。例如，具有脈衝寬度在大約 20 微微秒(ps)至大約 50ps 之範圍中，以大約 5MHz 至大約 100MHz 重複率之超快雷射，可以高尖峰功率處理材料，同時提供重大脈衝重疊，以避免脈衝間隔效應。光纖雷射現在通常以大於大約 500kHz 之重複率在奈秒區域中提供脈衝寬度。在正常情況下，對於給定處理條件(去除深度與寬度)，此提供給處理材料之“劑量”(功率/速度)應為固定。然而，在低速率，此所提供功率可能變得太低，以致於尖峰脈衝功率並不足以去除材料而不會導致熱效應(例如：熔化以及燒焦)。

【0009】 另一種會降低去除效率之處理效應為：處理射束與去除材料煙塵之交互作用。煙塵會使得射束足夠地扭曲變形或偏轉，而干擾到所聚焦射束，或由於其偏轉而造成準確度問題。

【0010】 射束定位器設計可以使用電流計將處理射束偏轉。此在工件處理射束之強度輪廓可以為：高斯(用於將高斯射束簡單地聚焦)；或形成強度輪廓(例如，平頂輪廓)用於由固定光學射束成形器所調整之射束。

【0011】 在以上已經說明此等系統，其中聲光偏轉器(AOD)與電流計組合以提供高速偏轉，此例如在美國專利案號 5,837,962 與 7,133,187 中說明，然而此等引証案中並未說明如何在先進射束定位設計中獲得所想要之性能表現。

【發明內容】

【0012】 在一實施例中，此用於將工件微機械加工之雷射處理系統包括：以雷射源，其產生一系列雷射脈衝，用於處理在工件表面中特徵；一電流計驅動(galvo)子系統，其沿著相對於工件表面處理軌跡給予雷射射束點位置之第一相對移動；以及一聲光偏轉器(AOD)子系統，其沿著垂直於處理軌跡之方向有效地加寬雷射射束點。此 AOD 子系統可以包括：AOD 與電光偏轉器之組合。

【0013】 在一實施例中，提供一種方法，用於以一系列脈衝處理在工件中之特徵。此方法包括使用第一定位系統，沿著處理軌跡，給予雷射射束點位置第一相對移動。此方法亦包括使用第二定位系統，沿著相對於該處理軌跡之顫動方向，給予雷射射束點位置第二相對移動。第二相對移動與第一相對移動重疊，且第二相對移動之速度實質上大於第一相對移動之速度。此方法亦包括在第二相對移動期間，發射第一複數個雷射脈衝，而在顫動方向中有效地加寬在此工件上之雷射射束點，且改變該第一複數個雷射脈衝之強度輪廓、作為沿著該顫動方向偏轉位置之函數，而在該顫動方向中將第一特徵選擇地成形。

【圖式簡單說明】

【0014】 圖 1 為方塊圖，其說明根據某些實施例所使用聲光偏轉器(AOD)之操作；

【0015】 圖 2 為根據某些實施例在各種射頻(RF)頻率之 AOD 繞射效率 vs 射頻(RF)功率之曲線；

【0016】 圖 3 為根據一實施例使用於選擇所想要衰減之範例 AOD 功率線性化曲線；

【0017】 圖 4 為根據某些實施例使用於選擇繞射效率與偏轉範圍間抵換之 AOD 繞射效率 vs 射頻(RF)頻率之曲線；

【0018】 圖 5 為根據一實施例之一系統之方塊圖，此系統包括 AOD 子系統與電流計子系統用於將雷射射束顫動；

【0019】 圖 5A 為根據一實施例用於射束成形之系統方塊圖；

【0020】 圖 5B 為根據一實施例以提供傾斜處理射束之系統之方塊圖；

【0021】 圖 6 為根據一實施例之一方法之流程圖，其使用最小平方最適化常式以判斷在掃瞄點之格柵上一組點振幅；

【0022】 圖 7A 說明根據一實施例之所想要之流量輪廓；

【0023】 圖 7B 說明根據一實施例之最適化掃瞄振幅，其對應於圖 7A 之所想要流量輪廓；

【0024】 圖 8 為根據一實施例之曲線，其有關於範例 AOD 電流計誤差修正濾波器；

【0025】 圖 9 為根據一實施例之雷射處理系統之方塊圖，其包括在一電流計子系統中之輔助感測器；

【0026】 圖 10 為根據某些實施例之經處理用於雷射直接去除的範例溝渠樣式；

【0027】 圖 11 為根據一實施例之與 AOD 以及電流計協調有關之曲線；

【0028】 圖 12 為根據一實施例之與 AOD 速度補償有關之曲線；

【0029】 圖 13 說明根據一實施例之平行處理與區域接合；

- 【0030】 圖 14 說明根據一實施例之第三輪廓子系統；
- 【0031】 圖 15A、15B、15C、15D、15E 為根據一實施例之由圖 14 中所示第三輪廓子系統所產生及/或使用之信號；
- 【0032】 圖 16A、16B、16C 為根據某些實施例之範例 AOD 指令序列；
- 【0033】 圖 17A 與 17B 說明根據某些實施例之速度調變之例；
- 【0034】 圖 18 說明根據一實施例之相對於位置指令信號與所產生 AOD 位置輪廓之定位誤差；
- 【0035】 圖 19 為根據一實施例之系統方塊圖，其使用用於掃瞄照射之 AOD 子系統而用於透過透鏡之視野；
- 【0036】 圖 20 為根據一範例實施例之 AOD 繞射效率曲線；
- 【0037】 圖 21 為根據一範例實施例之額外 AOD 線性化曲線；
- 【0038】 圖 22 為根據一實施例之 AOD 控制資料流之方塊圖；
- 【0039】 圖 23 為根據一實施例在一相交處相接溝渠之圖示；
- 【0040】 圖 24 為根據一實施例之在圖 23 中所示相接溝渠與額定溝渠之橫截面輪廓；
- 【0041】 圖 25 說明根據一實施例之與 Gaussian 射束之最適相交；
- 【0042】 圖 26 為根據一實施例之在圖 25 中所示與 Gaussian 射束之最適相交之橫截面輪廓；
- 【0043】 圖 27 說明根據一實施例之在相交之前之顫動溝渠；
- 【0044】 圖 28 為根據一實施例之在圖 27 中所示具有顫動之額定與相接溝渠之橫截面輪廓；

【0045】 圖 29 說明根據一實施例之與顫動射束之最適相交；

【0046】 圖 30 說明根據一實施例與對應於圖 29 之顫動射束(最適+敏感度)之相交之橫截面；

【0047】 圖 31 為根據一實施例之(在相交之前)用於改善位置公差之寬轉換邊緣；

【0048】 圖 32 為根據一實施例在圖 31 中所示(在相交之前)具有寬轉換溝渠之額定與相接溝渠之橫截面輪廓；

【0049】 圖 33 說明根據一實施例具有寬轉換邊緣之最適相交；

【0050】 圖 34 說明根據一實施例對應於圖 33 之具有寬轉換 (最適+敏感度)之相交橫截面；

【0051】 圖 35 為根據一實施例之具有槽口之交叉式相交溝渠；

【0052】 圖 36 為根據一實施例在圖 35 中所示槽口溝渠之橫截面輪廓；

【0053】 圖 37 為根據一實施例之最適交叉式相交；

【0054】 圖 38 說明根據一實施例具有對應於圖 37 之寬轉換 (最適+敏感度)之相交橫截面；

【0055】 圖 39 為根據一實施例以交叉溝渠處理之“T”相交；以及

【0056】 圖 40 為根據一實施例之在相交處劑量與形狀之動態控制。

【實施方式】

【0057】 在此所揭示之實施例提供一種經濟節省且可行之彈性高速率射束定位與調整。此所揭示之內容說明 AOD 與線性定位平台及/或電流計組合之使用。

【0058】 雖然，在此所揭示範例實施例是有關於聲光偏轉器(AOD)，然而，亦可以使用電光偏轉器(EOD)。例如，在某些實施例中，EOD 適合用於取代一些或所有 AOD 指標(偏轉)功能。EOD(當設定用於角度偏轉時)典型地並不會調變功率。因此，在某些實施例中，使用一或更多個 AOD 用於功率調變，且使用一或更多個 EOD 用於指標。實施調變之聲光裝置在此稱為聲光調變器(AOM)。可以其他機械射束操控技術例如快速操控鏡(FSM)，以取代電流計射束定位子系統，而不會損失其功能。

【0059】 一雷射處理系統，根據以下詳細說明之某些實施例，可以提供 AOD 與電流計定位。一種包括 AOD 與電流計射束定位之系統，可以藉由製成用於所想要操作條件之功率線性曲線，而提供 AOD 之較大偏轉範圍 vs 高繞射效率之抵換能力。

【0060】 某些實施例藉由快速更新 AOD 偏轉指令，以產生用於工件客製化處理之所選擇強度輪廓，而提供處理射束之顫動。可以使用顫動以改變此處理射束之有效尺寸(例如，其寬度或橫截面形狀)，或產生客製化點強度輪廓，而用於例如通孔形成之應用(任意形狀之頂帽強度輪廓)。可以使用顫動例如在工件上產生相交去除特徵，同時避免由於相交部份過度曝露之非所欲之深度變化。在此所揭示之相交處理能力允許持續處理(將射束強度輪廓成形，同時處理主要特徵而不會停止)，或使用掃瞄方式客製化處理，此提供能力以產生任意形狀相交，否則以其他方式無法或難以即刻處理。

【0061】 此具有 AOD 與電流計定位之系統亦提供掃瞄樣式(此處理射束點之位置與強度)之最適化，以適當地形成所想要之相交。某些實施例亦藉由以下方式而提供用於電流計定位誤差之修正：將電流計誤差信號適

當地過濾，而將來自電流計誤差之相位與增益響應、與在所選擇頻率範圍上射束位置匹配，同時濾除非所欲之雜訊。在對於顫動之替代方式中，某些實施例藉由”干擾”此 AOD 聲音波形，以脈衝-脈衝基礎將射束去焦，而改變處理射束點之尺寸。

【0062】 此外或在其他實施例中，將電流計射束定位器之操作與 AOD 定位操作協調，以允許 AOD 將用於高頻寬軌跡成份之處理射束偏轉，且允許電流計將用於較低頻寬軌跡成份之處理射束偏轉，其實施方式是藉由各別輪廓指令或藉由將主射束軌跡指令過濾。此高速射束軌跡可藉由允許 AOD 將射束速度於小局部區域中降低而同時並不改變電流計速度而致能，這使得能夠以全速處理較大之局部特徵。類似地，調變此處理射束功率而在特徵處理期間維持固定劑量(與射束速度無關)，允許電流計在某些區段中以全速操作，且在其他區段快速地減速至較低速度以便較佳追蹤軌跡。

【0063】 在某些實施例中，可以平行地處理多個工件特徵(使用 AOD 而在特徵間顫動)，以降低射束定位器速度，且藉由平行處理而允許較高產量。可以使用由 AOD 所提供相交處理能力，而將平行處理工件特徵部份接合至非平行處理之相鄰區段。

【0064】 亦可藉由使用 AOD 沿著所選擇工件特徵之速度向量以顫動射束位置，而使用 AOD 以較少額外成本或在光學序列中複雜度以穩定射束抖動，及/或避免在工件處理期間煙塵形成之非所欲效應。亦可以使用 AOD 同時提供用於通過透鏡觀看與對準工件之場照明與參考處理射束點，以(少的額外成本或複雜度)提供能力，而以非常高的準確度將處理射束對準工件特徵，且將用於處理射束之焦點調整最適化。AOD 亦可以提供能力，以製

成處理射束之負載周期，以致於可以將熱影響區域之效應最小化。

【0065】 現在參考所附圖式，其中類似參考號碼是指類似元件。為了清楚起見，參考號碼之第一個數字顯示首先使用相對應元件之圖號。在以下說明中，提供各種特定細節，用於徹底瞭解在此所揭示之實施例。然而，熟習此技術人士瞭解，亦可以無須一或更多個特定細節、或以其他方法、組件、或材料以實施此等實施例。此外，在一些情形中，並未詳細顯示與說明熟知之結構、材料、或操作，以避免模糊本發明之觀點。此外，可以將所說明特性、結構、特徵，以任何適當方式組合於一或更多實施例中。

【0066】 此等實施例可以包括各種步驟，其可以在機器可執行指令中實現，而可以由一般用途電腦或特殊用途電腦(或其他電子裝置)執行。以替代方式，此等步驟可以由包括特定邏輯之硬體組件實施，而由硬體、軟體、及/或韌體之組合實施此等步驟。

【0067】 亦可以提供此等實施例作為電腦程式產品，其包括非轉換的機器可讀取媒體，而具有儲存於其上之指令，可以使用此等指令以程式規劃一電腦(或其他電子裝置)，以實施在此所說明之過程。此機器可讀取媒體可以包括但並不限於：硬碟機、軟性磁碟、光碟、CD-ROM、DVD-ROM、ROM、RAM、EPROM、EEPROM、磁卡或光學卡、固態記憶體裝置、或適合用於儲存電子指令之其他型式媒體/電腦可讀取媒體。

【0068】 I. 聲光偏轉器(AOD)之概要

【0069】 圖 1 說明根據某些實施例而可以使用之 AOD 100 之操作。AOD 100 包括接合至晶體 112 之壓電轉換器 110。此 AOD 100 更包括射頻 (RF) 驅動器 113，其被組態以驅動壓電轉換器 110，而在晶體 112 中產生(例

如：在大約 50 MHz 與大約 1500 MHz 間頻率範圍中) RF 頻率聲波 114。此人射雷射射束 115 由在晶體 112 中產生率聲波 114 而繞射,此輸入射束功率之一部份被偏轉(“第一等級”射束 116),此射束剩餘功率未偏轉(“第零等級”射束 118)。在一些實施例中,此第一等級射束 116 使用於處理,此此第零等級射束傳送於射束收集器 122。此第一等級偏轉角度 120 與所施加之 RF 頻率成比例。

【0070】 在一實施例中,將此相對於聲波行之入射射束角度設定為 Bragg 角度。將入射射束角度設定至 Bragg 角度會增加繞射效率或將其最大化,此繞射效率為第一等級射束功率與輸入射束功率之比。此偏轉至第一等級射束 116 中之相對功率可以與在低 RF 功率位準由 RF 驅動器 113 所提供之 RF 功率大致成比例。然而,此偏轉至第一等級射束 116 中之相對功率(例如在圖 2 中所示)會在高位準飽和。在實際操作中,少量功率亦可能散射或偏轉至較高等等級射束中(未圖示)。

【0071】 以所選擇 RF 頻率與振幅,對於具有良好(高品質 Gaussian)輸入射束之適當設計裝置,AOD 之繞射效率可以至大約 95%或更多。當 RF 頻率改變時,此偏轉射束角度改變,且其繞射效率降至其最大值以下。在等於工件(未圖示)焦點大約 3 至 5 個直徑偏轉範圍上,AOD 可以維持大於大約 90%之效率。此經由操控聲音射束角度為 RF 頻率函數之技術,特殊設計之 AOD 可以達成甚至更高之繞射效率。

【0072】 可以將兩個 AOD 組合以產生一個二度空間(2-D)偏轉子系統。當如同以下所討論將其設置在電流器之前時,此兩個 AOD 在由電流計所產生額定射束位置周圍給予小射束偏轉。此種配置例如是在美國專利案

號 5,837,962 中說明。當使用此種配置以處理工件時，儘管繞射效率中變化是為 AOD 偏轉之函數，某些實施例在 AOD 偏轉期間維持固定射束功率。此在 AOD 偏轉期間維持固定射束功率可以藉由以下方式達成：藉由更新(例如調變)此 RF 功率振幅作為 RF 頻率之函數，而在高速達成(例如：使用於 AOD 之更新速率為從大約 $0.1\mu\text{s}$ 至大約 $10\mu\text{s}$)。此 RF 功率調變所具有效應為：降低在 AOD 偏轉範圍中間部份中繞射效率，以致於其匹配或接近最低繞射效率。雖然，匹配此最低繞射效率會降低此偏轉子系統之效率，其允許 AOD 使用於應用中，此等應用在 AOD 偏轉範圍上使用實質上固定(或可預測)功率。

【0073】 如同以上所討論，可以使用 EOD 作為 AOD 之替代(或與 AOD 一起使用)，而用於角度偏轉應用。EOD 偏轉器具有類似於 AOD 之能力：具有有限範圍(例如：等於在工件幾個點直徑)、非常大之頻寬(例如：微秒響應時間)、以及高傳輸效率。然而，使用晶體以執行 EOD 裝置會遭受相對高之光學功率吸收(例如：幾個百分比)或重大電性功率耗散，其會導致熱透鏡及/或射束指向漂移之問題。仍然，對於一些實施例而言(例如：使用低光學功率及/或高傳輸波長)，以下所說明使用 AOD 之技術可以 EOD 達成。

【0074】 II. 功率線性化

【0075】 為將 AOD 適當使用於雷射處理應用中，根據某些實施例，此繞射效率曲線被線性化，而作為 RF 功率與頻率之函數。用於可預測操作，可以使用被正常化之 AOD 功率衰減指令(從 0 至 1)，其導致第一等級射束功率之線性衰減。圖 2 顯示之在各種 RF 頻率之 AOD 繞射效率 vs RF 功率之曲線，此曲線可以根據某些實施例而使用。如同圖 2 所顯示，此 AOD

繞射效率曲線通常為非線性。由於此繞射效率曲線之非線性性質，可以根據某些實施例將繞射效率 vs RF 功率映射，以及可以產生線性函數(例如：多項式、查詢表、或類似演算法)，其提供 RF 功率且導致所命令之衰減。

【0076】 圖 3 說明根據一實施例使用範例 AOD 功率線性化曲線以選擇所想要之衰減。圖 3 中所說明範例線性化函數可以查詢表形式代表。圖 3 中所顯示線性化函數對於特定 RF 頻率為有效，對於不同 RF 頻率有稍微變化。為了使得能夠在合理 RF 頻率(以及因此偏轉)範圍上作線性操作，某些實施例使用複數個線性化表。此線性化表之數目取決於提供給 AOD 之頻率範圍與維持功率正常化之準確度。在某些實施例中，此等線性化表可以在大約 1% 之公差中產生線性功率調節。

【0077】 在一個 2 度空間 AOD 組態中，只需要一個 AOD 以控制用於功率線性化之 RF 功率。此第一 AOD 之 RF 功率調變可以提供控制，而使用於將第二 AOD 之繞射效率線性化。在某些此種實施例中，此第二 AOD 在接近其飽和點操作，而在 RF 頻率中改變對於繞射效率具有最小影響，而將作為偏轉函數之繞射效率變化減少或最小化。如果想要用於某些實施例，可以使用兩個 AOD 中之任一個用於功率線性化。在某些實施例中，可以使用第一 AOD 用於粗略之功率控制，以及使用第二 AOD 用於精細之功率控制，以便將由量化 RF 功率指令所導入之線性化誤差減少或最小化。

【0078】 由於在最適 RF 頻率設定此繞射效率曲線之尖峰，而在其他頻率操作會需要 AOD 在較低光學效率操作。如果此 AOD 在給定偏轉範圍上以一致光學輸出功率操作，則在某些此種實施例中，可以將所請求輸出功率組態，而在整個偏轉範圍上保持低於所能達成最小輸出功率。在設計

雷射處理系統中可以確認此限制，以及可以導引 AOD 操作偏轉範圍之選擇。對於需要非常高光學效率之過程，此 AOD 可以在小的偏轉範圍(例如小於大約 5 點直徑)中操作。對於需要較大偏轉範圍(例如：一直至數百點直徑)之過程，可以將最大效率降低以允許使用者將效率(例如：光學功率)vs 偏轉範圍作抵換。例如，圖 4 為根據某些實施例使用於選擇繞射效率與偏轉範圍間抵換之 AOD 繞射效率 vs 射頻(RF)頻率之曲線。圖 4 顯示繞射效率響應 vs RF 頻率位移、以及在最小繞射效率中之改變，用於範例 RF 頻率(偏轉振幅)操作範圍 412。在箭頭 414 顯示在小範圍上之高效率，以及在箭頭 416 顯示在較大範圍上之較低效率。

【0079】 III. 顫動

【0080】 圖 5 為根據一實施例之一系統 500 之方塊圖，此系統包括 AOD 子系統 506 與電流計子系統 508 用於將雷射射束顫動。系統 500 包括雷射源 510，用於提供處理射束 512 至 AOD 子系統 506。在一實施例中，雷射源 510 包括一脈衝雷射源，以致於處理射束 512 包括一系列雷射脈衝。在另一實施例中，雷射源 510 包括連續波(CW)雷射源，以致於處理射束 512 包括 CW 雷射射束。在某些此等實施例中，AOD 子系統 506 以離散(“脈衝”)間隔藉由將處理射束 512 偏轉而由 CW 雷射射束產生雷射脈衝。

【0081】 如同以上討論，AOD 子系統 506 以 AOD 偏轉角度 514 將處理射束 512 之第一等級射束 513 偏轉，及將處理射束 512 之零等級射束 515 偏轉至射束儲存器 516。系統 500 更可包括：一固定鏡 518，將第一等級射束 513 偏轉至電流計子系統 508；及一掃瞄透鏡 520，將雷射射束點 522 聚焦至工件 524 上或之中。掃瞄透鏡 520 之輸出在此稱為聚焦雷射射束 525。

【0082】 在一實施例中，AOD 子系統 506 可以包括單一 AOD，其被使用在第一方向(例如：顫動方向)中來回提供偏轉，而電流計子系統 508 在沿著處理軌跡 526 之第二方向中提供偏轉。然而，為了增加速率與變化，在圖 5 所說明之實施例中，AOD 子系統 506 沿著相對於工件 524 表面之 X-軸與 Y-軸提供二度空間(2-D)偏轉。在此例中，Y-軸平行於處理軌跡 526，且 X-軸垂直於處理軌跡 526。因此，X-軸可以稱為顫動方向。處理軌跡 526 可以對應於一方向，例如，在此方向中，系統 500 劃線或切割溝渠 528(例如，在電流計子系統 508 之控制下)至工件 524 之表面中。

【0083】 為了提供所說明二度空間(2-D)偏轉，AOD 子系統 506 包括：第一 AOD 530 與第二 AOD 532，用於當電流計子系統 508 將射束軸沿著處理軌跡 526 移動時，各將第一等級射束 513 在第一與第二方向中偏轉。換句話說，此由 AOD 子系統 506 所提供射束點位置之移動、與由電流計子系統 508 所提供射束點位置之移動重疊。如同於圖 5 中所示，電流計子系統 508 亦可以包括：第一電流計鏡 533 與第二電流計鏡 535，用於將第一等級射束 513 在相對於工件 524 表面之 X-軸與 Y-軸方向中偏轉。

【0084】 此 AOD 偏轉方向可不對準於電流計子系統 508 之偏轉軸。通常，可將座標轉換應用至 AOD 偏轉指令，將所產生之 AOD 偏轉對準於所想要之座標框。此座標轉換亦可為速度函數，將此 AOD 偏轉座標框旋轉，而將 AOD 射束偏轉保持垂直於由電流計子系統 508 所界定之處理軌跡。

【0085】 以此包括於系統 500 中之 AOD 子系統 506，可以將數個操作模式致能。在一實施例中，操作模式包括此能力將處理射束 512 顫動，以有效地加寬在工件 524 之雷射射束點 522。換句話說，顫動此處理射束

512 包括：將一系列聚焦雷射射束點 534 空間地定位以產生幾何特徵，其所具有尺寸大於由掃描透鏡 520 所聚焦之各個雷射射束點 522 之尺寸。為了說明目的，圖 5 顯示此顫動雷射射束點 534，此為當溝渠 528 在處理軌跡 526 之方向中處理時，由工件 524 之表面上觀看之情形。因此，例如以給定重複率，此顫動雷射射束點 534 系列所具有之效應為：以較低之脈衝重複率，將一系列較大直徑雷射射束點連續施加於處理軌跡 526 之方向中。

【0086】 在某些實施例中，AOD 530 與 532 可以大約 $0.1\mu\text{s}$ 至大約 $10\mu\text{s}$ 之等級，以更新其各聲音場(將光學孔徑填以新的聲音波形)。假設額定更新率為大約 $1\mu\text{s}$ ，則可以快速地更新此處理射束位置，以致於在處理期間數個顫動雷射射束點 534 會重疊。此等顫動雷射射束點 534 可以在一度空間中(例如：沿著 X-軸或顫動方向)重疊，而垂直於處理軌跡 526，以加寬此被處理之特徵(例如：溝渠 528)。如同於圖 5 中所顯示，此等顫動雷射射束點 534 亦可以在處理軌跡 526 之方向重疊。為了將顫動射束方向保持垂直於處理軌跡 526，根據某些實施例，當處理軌跡 526 之角度改變時，可以持續地調整顫動軸。此外，可以調整顫動軸，以補償給予顫動點之線上之角度而為處理軌跡速度之函數。給定軌跡速度 V 、顫動更新期間 T_d 、顫動點之數目 N_{pts} 以及顫動路徑 D_d ，則此角度等於 $\text{atan} [T_d * (N_{pts} - 1) * V / D_d]$ 。

【0087】 除了將射束位置相對於工件 524 表面顫動之外，或在其他實施例中，可以使用 AOD 子系統 506，以改變顫動軸中之強度輪廓。此沿著顫動軸之處理射束 512 強度輪廓之操控，使得能夠形成處理溝渠 528 之橫截面形狀。例如，溝渠 528 可以被處理而具有所形成矩形、U 形、或 V 形橫截面形狀。此成形之特徵例如側壁斜坡可以有用於例如相交成形之情形

中。此形成形狀之解析度可以根據基本點尺寸，且此成形之強度輪廓可以為以下之捲積：顫動樣式(位置與強度)，以及點強度輪廓(例如：Gaussian 或另一個輪廓形狀)。可以例如藉由以下方式將特徵形成形狀：沿著顫動軸在某些位置將脈衝重疊(例如：可以在相同位置施加兩個或更多脈衝)，以去除所選擇數量之靶材料；及/或調變雷射脈衝之功率振幅，作為沿著顫動軸偏轉位置之函數。

【0088】 除了沿著顫動軸將特徵成形之外，或在其他實施例中，可以使用 AOD 子系統 506，以控制功率作為沿著處理軌跡 526 位置之函數，以允許經處理線性特徵之“終點”類似地成形。亦可控制功率為沿著處理軌跡 526 位置之函數，而有用於例如相交形成之應用中。使用 AOD 子系統 506，使得能夠以非常高速率(例如：以微秒等級)將功率調變致能，以致於可以在高處理速度(例如：具有在大約 1m/s 與大約 5m/s 間之範圍中)，作強度輪廓之精細控制(例如：在大約 5 μ m 與大約 50 μ m 間範圍中之特徵尺寸)。

【0089】 除了高斯(Gaussian)射束偏轉外，某些實施例亦可藉由傳統射束成形技術將所成形射束偏轉，此傳統射束成形技術例如包括繞射光學元件(DOE)。例如，圖 5A 為根據一實施例用於射束成形之系統之 540 方塊圖。系統 540 包括：AOD 子系統 506(具有第一 AOD 530 與第二 AOD 532)、零等級射束儲存器 516、以及在圖 5 中所顯示之鏡 518。系統 540 更包括：繞射光學元件(DOE)542，用於射束成形；以及光學元件 544(例如：影像光學裝置、電流計鏡、以及掃瞄透鏡)。為了說明目的，將圖 5A 中之第一等級射束 513 顯示於 AOD 偏轉角度 514 之範圍中。在圖 5A 所說明之實施例中，此由 AOD 子系統 506 所偏轉之第一等級射束 513 經由傳送透鏡 546 而

傳送至 DOE 542(在 DOE 542 上形成射束樞軸點之影像)，而將第一等級射束 513 保持集中在 DOE 之孔徑上，而不論由 AOD 子系統 506 所給予之 AOD 偏轉角度 514。此 DOE 542 然後可以藉由給予額外波前相位失真而將射束強度成形(如同典型地對於此種射束成形 DOE)。此方式有益於此種情形：將較大成形射束偏轉且對接以形成具有例如正方形強度輪廓之更均勻顫動流量輪廓。此方式亦有益於此種情形：小數目之雷射脈衝足以形成所想要特徵(例如：在介電質材料中所鑽之微通孔)。在此種情形中，高斯(Gaussian)脈衝之掃瞄應用相對於成形強度輪廓之應用為較不有效率，然而，對於成形強度處理點位置之高速控制，此高速 AOD 偏轉可以為令人所欲。

【0090】 在其他實施例中，可使用類似傳送透鏡組態，而在掃瞄透鏡產生 AOD 偏轉射束之偏轉。此由於至少兩個原因而令人所欲。首先，此為令人所欲將射束之樞軸點傳送至電流計掃瞄鏡(以去除射束之橫向偏轉)，而(a)將射束保持集中於電流鏡與掃瞄透鏡之清楚孔徑中，以避免射束剪切；以及(b)避免此射束從掃瞄透鏡進入瞳孔之中央之位移，因為此種位移會在工件表面產生傾斜射束。其次，可令人所欲在掃瞄透鏡給予橫向射束偏轉，以便有意地在工件表面產生射束傾斜。傾斜射束在某些高斯雷射鑽孔應用中為有利，以便在所處理特徵(例如：微通孔鑽孔)中產生陡峭側壁。

【0091】 圖 5B 為根據一實施例提供傾斜處理射束 552 之系統 550 方塊圖。系統 550 包括：AOD 子系統 506(具有第一 AOD 530 與第二 AOD 532)、零等等級射束儲存器 516、以及在圖 5 中所顯示之鏡 518。系統 550 更包括：傳送透鏡 546、以及光學元件 544(例如：影像光學裝置、電流計鏡以及掃瞄透鏡)。為了說明目的，將圖 5B 中之第一等級射束 513 顯示於 AOD

偏轉角度 514 之範圍中。如同在圖 5B 中所顯示，藉由適當設計與間隔 554 此傳送透鏡 546 與掃瞄透鏡(例如：圖 5 中所顯示之掃瞄透鏡 520)，此由 AOD 子系統 506 所偏轉之第一等級射束 513 亦可以橫向偏轉，而在工件 524 之表面產生傾斜處理射束 552。此在工件 524 用於處理點之給定偏轉之射束傾斜數量可藉由以下方式控制：(a)使用 AOD 530 與 532，而在工件 524 實質地產生橫向點偏轉，且改變傳送透鏡 546 與至掃瞄透鏡(掃瞄透鏡 520)之間隔 554；或(b)協調電流計(例如：在圖 5 中所顯示之電流計 533 與 535)以及 AOD 530 與 532，以致於在掃瞄透鏡之任意橫向射束偏轉(及因此在工件 524 之任意射束傾斜)，可以由在工件 524 之所想要橫向點偏轉而獨立地給予。

【0092】 以下在標示為「範例 AOD 控制實施例」之段落中揭示成形技術之進一步細節。

【0093】 雖然，射束顫動可以非常有效且具彈性，用於產生所想要之輪廓；對於顫動之一種替代方式(通常為更加限制)包括：藉由將干擾波形施加於 AOD 530 與 532 之至少之一，而改變雷射射束點 522 之焦點。以一干擾波形，聲波之瞬間頻率在此通過 AOD 晶體之光學處理射束 512 中線性地變化。聲波瞬間頻率之線性變化所具有效應為：將一單軸(散光)聚焦條件提供給處理射束 512，而並非將雷射射束點 522 以離散步驟位移。根據某些實施例，藉由提供干擾波形至 AOD 530 與 532，可以將雷射射束點 522 對稱地去焦，因此增加在工件 524 點之尺寸。此方式可以有用於例如較低重複率雷射之情形中，在此種情形中，脈衝重複頻率可能並不足夠高，在工件 524 提供脈衝之良好重疊，以避免當加寬溝渠 528 時之強度變化。

【0094】 IV. 掃瞄

【0095】 另一個可以與 AOD 子系統 506 一起使用之操作模式包括：以 AOD 530 與 532 非常快地掃瞄二度空間樣式。此掃瞄之一用途包括：將處理射束 512 之強度輪廓以空間方式成形，而在工件 524 例如微通孔產生所想要之特徵。AOD 530 與 532 控制點位置與強度加權，其使得能夠產生任何所想要的強度輪廓。此外，可以為有益改變在各位置雷射射束點 522 之停留時間，其使用高強度用於處理操作例如銅鑽孔。

【0096】 使用掃瞄可以提供優於傳統“成形光學裝置”方式之數個效益。一些效益包括但並不限於：任意選擇處理點之直徑(在 AOD 範圍中)或形狀(例如：圓形、正方形、矩形、卵形、或其他形狀)；由於去除成形光學裝置、及/或高斯或成形模式改變光學裝置而成本降低；一種能力，能以非常高速率、沒有由於電流計射束定位之動態限制、而以高強度高斯(Gaussian)射束(例如：使用螺旋、穿孔、或其他樣式)以處理特徵；藉由適當修正掃瞄樣式而補償射束失真(例如：橢圓形點)；及/或即興地產生空間強度分佈而將特徵例如尖端及/或底部品質最適化或改善。

【0097】 有數個選擇可供使用以設計掃瞄樣式(點位置與振幅)。一實施例包括：以點位置之陣列填入一區域。然而，此實施例對於在此區域上最後累積流量輪廓提供很少控制。例如，在掃瞄區域邊緣流量輪廓之定義可能不具有所想要的“斜率”(例如：流量 vs 位置中之改變)，用於通孔形成或相交處理。

【0098】 在另一實施例中，明確地界定流量輪廓，且選擇掃瞄樣式以最適合所界定輪廓。此所具有之優點為：產生客製化流量分佈，例如，具有在整個掃瞄區域之可變流量位準以改變深度，或在掃瞄區域之邊緣具有

特定成形之側壁。當例如將相交跡線之流量組合及/或當以客製化側壁錐度 (taper) 鑽通孔時，此實施例可以為有用。

【0099】 圖 6 為根據一實施例之一方法 600 之流程圖，其使用最小平方最適化常式(routine)以判斷在掃瞄點之格柵上一組點振幅。如同於圖 6 中所示，此方法 600 包括：設定 610 一候選掃瞄格柵。對於在掃瞄格柵中之各點，此方法 600 包括：計算 612 在掃瞄場上流量輪廓，以產生各“影響函數”。此方法 600 更包括：編輯 614 此影響函數成影響函數矩陣，計算 616 此擬似-逆影響函數矩陣(例如：使用單值分解(SDV)演算法)；以及使用此擬似-逆影響函數矩陣，計算 618 在各格柵點之點振幅。此方法 600 更包括：根據在各掃瞄點所計算之點振幅將雷射射束點施加 620 至工件。

【00100】 在以下概要說明範例式，其說明在圖 6 中所說明之方法。此範例式假設一掃瞄樣式，其界定於 XY 座標 $\{x_r, y_r\}$ 中而包含 N_r 點。應用一組掃瞄振幅(Z_r)，以產生所想要的流量表面(Z_s)，其可以在一組包含 N_e 點之 XY 座標 $\{x_e, y_e\}$ 估計。此影響矩陣 H 界定如下：

$$Z_e = H * Z_r, \text{ 是 } (N_e \times N_r)$$

【00101】 執行一操作以產生影響矩陣 H，其包括計算位於一 $\{x_r, y_r\}$ 點之單一處理點之流量，此於各 $\{x_e, y_e\}$ 點上估計。如果對於各估計將 Z_r 與 Z_e 矩陣“向量化”，則 Z_r 為 $(N_r \times 1)$ ，而 Z_e 為 $(N_e \times 1)$ 。對於各 $\{x_r, y_r\}$ 掃瞄電重複此程序，用於總共 N_r 估計。將所有結果(Z_r 與 Z_e)附加於矩陣中，以產生尺寸 $(N_r \times N_r)$ 之 Z_r 對角線矩陣，以及尺寸 $(N_e \times N_r)$ 之 Z_e 矩陣。藉由此所提供各點振幅將結果正常化，而產生用於 Z_r 之單元矩陣。然後，此影響矩陣 H 為(正常化) Z_e 矩陣。

【00102】 給定此影響矩陣 H ，則使用此所想要致動器指令向量 Z_r ，而產生所想要之表面流量 z_{Des} ，而可以給定為：

$$Z_s = H_{inv} * Z_r$$

【00103】 H_{inv} 可以經由 SVD 分解而計算，而限制其在 H_{inv} 中模式數目，以避免過度雜訊效應。因為 H (以及 H_{inv})之辨識為進似， Z_r 之計算可以在封閉迴路模式中實施，而具有所提供之調整增益為：

$$Z_r(k+1) = Z_r(k) - k\text{Alpha} * H_{inv} * (z_{Des} - Z_s)$$

【00104】 Z_s 由一模式或所測量系統資料在各疊代(iteration)中計算。

【00105】 雖然圖 6 中之方法 600 與上述範例式可以為相當直截了當，此方法 600 對於掃瞄格柵之選擇以及計算擬似-逆矩陣之方法為敏感。然而，方法 600 對於在基本雷射射束處理點之空間特徵限制中所想要之流量輪廓，提供可接受之近似，其可以對於掃瞄樣式任何邊緣之解析度施加基本限制。圖 7A 圖示說明所想要之流量輪廓，且圖 7B 圖示說明此根據圖 6 之方法 600 與上述範例式所決定相對應最適化掃瞄振幅。

【00106】 根據另一實施例，一相關方式涉及使用梯度下降方法將掃瞄樣式最適化。在此實施例中界定目標函數(例如：其適合所想要之流量輪廓)。此最適化過程決定局部目標函數梯度(此所給定函數中遞增變化會導致流量中遞增變化，而施加至各掃瞄格柵位置)，且在一演算法中使用此梯度以搜尋掃瞄點振幅之最適向量。

【00107】 可以將此兩種方式(SVD 與梯度下降)實施於模擬或系統中。在此系統中，可以使用此由所給定掃瞄樣式所產生之實際流量分佈(由量測攝影機所測量)，將性能表現量化。然後，可以應用此兩種最適化方法

中之任一種，將流量分佈最適化，此種過程可以避免或減少模型誤差與說明系統中之公差，例如：點尺寸與失真、AOD 線性化誤差、及/或光學對準。

【00108】當然，可以其他最適化方法以取代上述演算法。

【00109】V. 形成相交

【00110】某些實施例包括形成相交之處理特徵(例如：溝渠、墊、通孔、以及其他特徵)，而具有在相交處特徵深度之經控制變化。例如，可能另人所欲控制電性特徵，例如：阻抗(以維持高速信號之完整性)、介電崩潰(其可能對於電鍍溝渠與下面導電層間之間隙敏感)、或控制電鍍品質。

【00111】當例如此處理射束流量大於材料去除臨界值許多時，此相交處理可能變得非常難，這是因為工件介電質之去除是與所提供之累積流量成比例。在此種情形中，藉由將特徵簡單地相交以處理兩個相交特徵會導致“雙重曝露”，其在雙重曝露點具有接近 100%之深度變化。

【00112】為了避免或減輕此問題，可以使用以上參考圖 5 所討論之系統 500，而將在相交區域兩個特徵之流量“混合”，以減輕或避免雙重曝露。例如，如果使用 AOD 子系統 506，以處理溝渠特徵、其在側壁具有流量寬的“斜坡”；以及處理相交溝渠特徵，其具有在其終點匹配之流量“斜坡”。將此兩個流量分佈組合，而在其相交處產生額定平坦流量場。因此，可以使用 AOD 子系統 506，以產生深度控制相交。

【00113】此流量斜坡之產生提供其他效益，例如，將由於射束定位公差所產生之深度變化最小化。以此在相交區域中陡的流量斜坡，此在相交特徵去除期間在射束位置中小的變化(例如：大約 $1\mu\text{m}$ 至 $5\mu\text{m}$ 之等級)，會造成重大深度變化。藉由在流量中產生緩的斜坡，則射束定位誤差會產生

可接受之深度變化(例如：小於大約 10%至大約 15%之額定深度)。

【00114】 此流量斜坡之產生，可以藉由隨時即興(on-the-fly)地改變流量斜坡及/或寬度以處理此相交特徵而實施。在另一實施例中，此溝渠特徵在相交處(具有適當之流量斜坡)之外終止，接著為掃瞄此相交體積之其餘部份。此實施例具有數個優點，其包括，例如：對於相交型式較小之敏感度(例如：相交溝渠之角度、多個溝渠在單點相交、彎曲溝渠之相交)；使用最小化額外線寬度以產生側流量斜坡、其會在對接溝渠間之間隙中強迫造成非所欲之變化；及/或將掃瞄樣式客製化之能力，而將相交特徵最適化。掃瞄樣式客製化在當處理任意形狀相交、例如具有多個相交跡線之圓形墊時，可以為有用。

【00115】 在此所揭示相交處理之額外細節，是標示於「範例相交處理實施例」之段落中。

【00116】 VI. 電流計誤差修正

【00117】 重覆性誤差(如同以上說明，其會限制以良好深度控制作機器相交之能力)之一來源可能為在圖 5 中所顯示電流計子系統 508 之定位誤差。此誤差可能由於感測器雜訊或追蹤誤差。在電流計子系統 508 中之各電流計鏡 533 與 535 可以與回饋感測器(未圖示)連接，而使用各電流計伺服器(未圖示)以控制鏡移動。當電流計伺服器追蹤在伺服器頻寬中回饋感測器雜訊時，會產生感測器雜訊效應，而導致實體射束移動。此誤差激發亦可以藉由電流計之封閉迴路響應而放大，其會將頻率頻譜之一些部份放大。感測器雜訊效應會產生射束誤差，取決於特殊光學與伺服器設計，而為從大約 $0.1\mu\text{m}$ 均方根(RMS)至大約 $5\mu\text{m}$ 均方根(RMS)。

【00118】 感測器雜訊效應會在所有時間發生，而不論其被命令之射束軌跡。然而，追蹤誤差是在當電流計被命令跟隨一動態積極射束軌跡(包含大加速度或高頻率指令)時發生。此電流計伺服器無法追蹤指令會導致追蹤誤差與所產生重覆性損失。追蹤誤差可以例如為線性伺服器響應表現及/或非線性電流計行為(例如：軸承磨擦或磁性磁滯)之結果。

【00119】 為了減少感測器雜訊誤差與追蹤誤差之來源，根據一實施例，使用 AOD 子系統 506 之偏轉能力，以修正由位置感測器回饋所顯示之電流計誤差。此感測器讀取內容包括感測器雜訊，其可以在一合理頻寬上被濾除，以減少或避免響應與此雜訊而增加非所欲之射束移動。在一實施例中，此濾除實質上將在有關頻寬中電流計位置感測器與射束位移之間移轉函數(“射束移轉函數”或 BTF)之相位與增益匹配，而同時濾除較高頻率。在某些實施例中，此 BTF 受到位置感測器與電流計鏡之間動態關係之強烈影響，此動態關係經常是由輕微阻尼之第二等級極所良好模製。此影響相位匹配之其他因素例如為：由於信號濾波與資料通訊所造成之時間延遲，而可以包括於誤差修正濾波器之設計中。圖 8 圖示說明 AOD 誤差修正濾波器之一範例實施例，其提供在大約 10kHz 以下相位與增益匹配、以及在大約 10kHz 以上感測器雜訊濾除之互相衝突需求間之妥協。

【00120】 感測器雜訊去除亦可以經由例如為估計(例如”Kalman 濾波)之替代方式而達成，由於非模製動態特性或非線性行為，而在一些實施例中有降低性能表現之危險。

【00121】 VII. 用於射束位置準確改良之 PSD 鏡感測

【00122】 在某些實施例中，可以使用外部感測器以加強 AOD 誤差修

正，此外部感測器偵測實際電流計鏡位置。在某些以電流計為主之射束定位系統中，可以將角度位置感測器內建於此電流計中，以感測鏡之角度。這些感測器可以位於電流計軸之遠端(離開此鏡)，而其他感測器可以位於靠近鏡之軸終端。

【00123】 當此角度位置感測器為於離開此鏡之電流計軸之遠端時，此感測器偵測軸之旋轉。然而，軸角度偏轉會造成此鏡具有不同偏轉角度。此感測器設置具有一些優點，其提供能力以增加伺服器迴路頻寬，因為其並不會對於鏡共振響應。

【00124】 當此角度位置感測器為於靠近此鏡之軸終端時，此感測器偵測較靠近鏡之軸之角度偏轉。此感測器設置可以更準確地測量真實鏡角度。然而，當此鏡本身相對於在感測器之軸偏轉時，此感測器仍然會遭受誤差。此外，以此感測器設置，此軸與鏡之共振會出現於電流計頻率響應中(從馬達驅動器至感測器輸出)，而使得電流計伺服器之設計複雜，而限制其性能表現。

【00125】 此外，上述兩種感測器之設置方式均無法測量與軸角度無關之鏡模式。一種模式包括“振動”(flapping)鏡。其中，此鏡平面圍繞著垂直於旋轉軸之軸而旋轉。此模式對於高速電流計偏轉系統之性能表現造成限制。

【00126】 此電流計旋轉感測器之另一個問題為其雜訊性能表現。由於此電流計小的封裝尺寸，以及想要將位置感測器尺寸(以及旋轉慣性)最小化之意願，此存在與感測器電路中之電性雜訊會轉換成相當有效之角度雜訊，此會使得電流計伺服器定位表現退化。例如：在 10kHz 之頻寬中，此雜訊可以為大約 0.1 微徑(μRad)RMS 至大約 5 微徑(μRad)RMS。

【00127】 在一實施例中，可以選擇不同感測器以實施以下步驟：偵測鏡之真實角度位置，而無軸偏轉效應；偵測會影響射束位置準確度之鏡移動之所有模式；以及以低雜訊位準產生角度測量，以致於此測量可以由電流計伺服器回路或其他裝置使用，以修正所感測誤差。

【00128】 為了修正在實際電流鏡位置中之誤差，根據某些實施例，此在圖 5 中所示電流計子系統 508 包括一輔助感測器(於圖 5 中未顯示)，其提供回饋而將此電流計鏡相對於掃描透鏡 520 保持定位。例如，圖 9 為根據一實施例雷射處理系統 900 之示意圖，其包括在電流計子系統 912 中之輔助感測器 910。在此例中之輔助感測器 910 包括一位置感測二極體(PSD)，其在此稱為 PSD 910。此雷射處理系統 900 亦包括：一 AOD 子系統 506、一掃描透鏡 520、一參考射束源 914、以及一參考組合鏡 916。此 AOD 子系統 506 與掃描透鏡 520 在以上參考圖 5 說明，以提供至工件 524 之表面之聚焦處理射束 922。

【00129】 參考組合鏡 916 將來自參考射束源 914 之參考射束 918、與來自 AOD 子系統 506 之處理射束 920 組合，以輸入至電流計子系統 912。參考射束組合器 916 可以包括例如：一分色鏡、一偏極化分光鏡、或其他類似裝置，用於將雷射射束組合，以提供具有穩定功率與指向角度之參考射束。如果此處理射束之位置與功率足夠穩定用於特定應用，則在 PSD 感測操作期間可以使用來自 AOD 子系統 506 之處理射束 920(但並非必要)。

【00130】 除了 PSD 910 外，電流計子系統 912 包括：一電流計鏡 924、一 PSD 擷取鏡 926、以及一 PSD 透鏡 928。此參考射束 918(以及主要處理射束 920)由電流計鏡 924 反射。此 PSD 擷取鏡 926(例如：分光鏡)擷取所偏

轉之參考射束(由電流計鏡 924 所偏轉)，且將所偏轉之參考射束導向 PSD 而用於偵測。

【00131】 可將 PSD 透鏡 928(例如：聚焦透鏡)選擇性地插於測量路徑中，以致於僅有所偏轉參考射束之角度移動被移轉至在於 PSD 910 上之 XY 點偏轉，而其橫向射束移動被轉換至在於 PSD 910 之射束角度，且因此無法在 PSD XY 平面中被測量。在某些實施例中，PSD 透鏡 928 包括袖珍遠距攝影透鏡，其具有長的有效焦距，用於將在 PSD 平面之點移動放大。在某些此等實施例中，將 PSD 透鏡 928 定位以致於其前焦點是位於掃瞄透鏡進入瞳孔。如果橫向射束移動並非所關切事項，且在 PSD 910 上射束移動之調整足以用於特定應用，則在某些實施例中，可以將 PSD 透鏡 928 省略。

【00132】 可以選擇獨立參考射束 918 與 PSD 910，以致於此射束功率與 PSD 光學敏感度組合可以提供足夠低雜訊。在 PSD 測量中主要雜訊來源可以為“起伏(shot)雜訊”或為將在輸出電流中電荷載體(個別電子)量化所產生雜訊。此訊號-至-雜訊比(SNR)可以與電流之平方根成比例。藉由將輸出電流提高至一高位準，而可以改善 SNR，且可以作低雜訊角度測量。

【00133】 一旦將此 PSD 感測定位，則可以容易地校準：此 PSD 910 之輸出對於(vs)工件聚焦處理射束 922 之位置。給定一經校準 PSD 910，則可以數種方式改善射束定位。例如，可以使用 PSD 910 作為用於電流計伺服器之位置回饋感測器。此可以由於其產生交互耦合系統之事實而變為複雜，而將回饋系統之動態關係複雜化。此外，難以將非旋轉鏡模式(振動(flapping)或其他模式)容納於伺服器迴路中。可以使用動態估計器(例如：Kalman 濾波器、Luenberger 觀察器或其他估計器)，將動態模式分開，且改

善伺服器迴路設計。

【00134】此外，或在其他實施例中，可以使用 PSD 910 而由電流計子系統 912 本身作有限誤差修正。例如，如果其頻率內容是在電流計伺服器之頻寬中，則可以由電流計修正鏡相交軸模式。此外，此在內建式電流計感測器(未圖示)中之低頻雜訊誤差，可以藉由將來自 PSD 910 之回饋(以低頻率)與來自內建感測器之回饋(以較高頻率)混合而去除。

【00135】此外，或在其他實施例中，可以使用此 PSD 位置讀取內容，而由各別裝置、例如包括於射束路徑中之 AOD，作開放迴路誤差修正。此為有用之操作模式，因為它將來自誤差修正系統之電流計動態特性分開。使用此由主要處理射束(其由 AOD 子系統 506 偏轉，且因此由 PSD 910 感測)分開之參考射束，而允許在一“開放迴路”模式中操作之 AOD 誤差修正，其中此 AOD 誤差修正並不會影響 PSD 射束位置輸出。此可以大幅簡化誤差修正演算法。在此一實施中可以容易地修正雜訊與鏡偏轉模式。

【00136】如果此處理射束 920 亦使用作為 PSD 參考射束 918，則類似的 AOD 誤差修正仍然為可能，而以 AOD 子系統 506 形成一封閉誤差修正迴路。在此種情形中，分析此 PSD 讀取內容，而將任何故意之 AOD 偏轉指令(例如：顫動、掃瞄及/或高動態射束定位)去除，因為此故意指令是由 PSD 910 感測。

【00137】在某些實施例中，可以有用地包括：一第一 PSD 感測器、其感測各別參考射束角度；以及一第二 PSD 感測器(未圖示)，其感測處理射束角度，而將上述實施例之效益組合。例如：可以使用第二 PSD，而用於診斷測量與處理品質監視。

【00138】 VIII. 產量改善：AOD/電流計協調與第三輪廓

【00139】 某些雷射處理應用，例如雷射直接去除(LDA)是以高的處理射束速度(例如：在大約 0.2m/s 與大約 5m/s 之間範圍中之速度)去除特徵，以達成高產量。執行此高速處理之一項挑戰為：使用於控制處理射束位置之電流計射束定位系統之動態限制。在一些特徵例如短弧區段之處理期間，此射束定位器加速，以改變射束速度軌跡。此 LDA 應用例如會要求以所想要大約 1 μ m 之重覆率(在電流器之場中)以處理特徵，而此特徵為具有小於或等於數十微米等級之緊密圈半徑。圖 10 說明根據某些實施例用於 LDA 應用之範例所處理溝渠樣式。在此所揭示實施例提供溝渠相交 1010、墊相交 1012、具有緊密轉換 1014 之墊相交以及與 LDA 處理有關之其他特徵之高速處理。

【00140】 當處理射束速度增加時、或弧形區段變得較短時，加速度是在較短時間期間發生，在此期間射束定位器使用較高頻寬控制。此最後變成為抵達高速能力之限制。

【00141】 再度參考圖 5，此限制可以藉由使用高速偏轉器例如 AOD 子系統 506 實施射束軌跡控制之高頻寬部份而避免。以此方式，可以設計電流計軌跡以大致依據所想要之處理軌跡 526，同時保持在電流子系統 508 之動態限制(例如：加速度及/或頻寬)中。例如，圖 11 為根據一實施例之與 AOD 以及電流計協調有關之曲線。如同於圖 11 中所顯示，此電流計路徑 1110 可能無法準確地依據所想要之處理路徑 1112，而造成射束軌跡誤差。此射束軌跡誤差可以藉由使用 AOD 子系統 506 以額外地偏轉處理射束 512 而去除。例如，圖 11 顯示 AOD 指令信號 1114 與電流計路徑 1110 以及處

理路徑 1112 間之關係。因為此兩個軌跡(電流計與處理射束)事先為已知，所以可以計算 AOD 偏轉軌跡且証實其滿足 AOD 限制(例如：範圍、以及在此範圍上之最大正常化功率)。可以製成此電流計軌跡，以致於其剩餘誤差並不會違反 AOD 限制。此可以為一疊代過程；例如，在工具路徑之某些部份中可以降低此電流計速度，以致於此電流計可以更緊密地追蹤所選擇之軌跡，且因此將所產生之軌跡誤差保持在此 AOD 範圍限制中。

● 【00142】 另一實施例包括：如同以上說明，使用 AOD 子系統 506，以“被動地”修正電流計追蹤誤差。在此實施例中，計畫此所選擇之處理軌跡 526 而並無明確的限制，而此電流計子系統 508 嘗試依據此路徑，而以 AOD 子系統 506 修正任何所產生之追蹤誤差。此種方式之限制包括：在電流計中非所欲動態特性之激發(例如：鏡共振)，以及此危險此 AOD 誤差修正之性能表現並不足以合適地降低追蹤誤差，以符合用於特定應用之整體射束定位需求。

● 【00143】 在某些實施例中，此電流計誤差之 AOD 修正可以與各別產生之射束以及電流計軌跡一起使用，以去除剩餘電流計追蹤誤差。可以應用在以上任何實施例中所說明 AOD 操作，而同時將射束顫動與去焦點，以控制有效點尺寸。

● 【00144】 此產量之另一限制可以為，可供使用以處理特定樣式之不同部份之雷射功率。對於一所給定材料，此處理劑量(功率除以速度)可以為此去除特徵之橫截面面積之函數。如果此系統使用最大可供使用雷射功率，則此處理射束速度可以由劑量(速度=功率/劑量)所決定。儘管劑量之改變，通常令人想要維持最高可能速度，以維持高產量。在某些情形中，此由於

劑量快速改變而為困難。例如，當相當薄的溝渠加寬大約 5 倍(5x)以形成一大面積特徵時，則難以獲得高速度。在此情形中，如果此射束速度在特徵集合之長度上保持固定，則此速度會受到在擴充面積所使用高劑量之限制，此可能會並無必要地減緩此沿著較薄溝渠之射束速度。由於電流計之動態限制，此主要射束定位器(電流計)之快速加速度與減速度、特別是對於快速轉換，可能非令人所欲。

【00145】 為了避免或減少此主要射束定位器之快速加速與減速，根據一實施例，此可供使用 AOD 場在短區段上產生較慢射束速度。例如，假設一溝渠特徵可以大約 2m/s 之速度處理，且此擴張特徵具有長度為 100 μ m，則可以三倍(3x)較慢之速度處理(由於 3 倍較高之指定劑量)。如果此電流計速度 2m/s 並未改變，則此射束在大約 50 μ s 內額定地通過此寬的特徵。然而，此射束以大約 $2/3=0.67$ m/s 之射束速度處理此特徵(以維持適當劑量)。因此，此 AOD 偏轉之相對速度為大約 $2-0.67=1.33$ m/s，而此可以應用大約 50 μ s，以造成大約 67 μ m(\pm 大約 33 μ m)之 AOD 偏轉。藉由避免由於寬特徵而在整個區段中速度限制，此範例實施例有效地增加局部處理速率大約 3 倍(3x)。圖 12 說明例如在此時間期間之速度軌跡。圖 12 圖示說明使用高劑量之寬特徵或其他特徵之與 AOD 速率補償有關之曲線。

【00146】 此外，或在另一實施例中，可以動態地改變(調變)此射束之平均速度，而同時維持固定劑量(功率/速度)。在某些此等實施例中，此 AOD 子系統 506 調變此處理射束功率，作為瞬間電流計速度之函數。此功率調變提供此能力，將電流計鏡 533 與 535 緩慢下來，而以更限制性動態要求(例如：快速且頻繁地改變去除特徵之方向)處理工件 524 之區段；或以放鬆之

動態要求(例如：直截了當之區段或方向非常緩慢改變之區段)，在此等區段中將電流計鏡 533 與 535 加速。如果沒有即時 AOD 功率控制，則此種能力並不可能，而會導致產量損失。

● **【00147】** 當處理平行線區段(例如：對接溝渠)時，可以會產生用於產量改善之另一機會。在某些此等實施例中，此 AOD 子系統 506 可以足夠快速率(例如：大約 $1\mu\text{s}$)切換在兩線之間處理射速 512，以致於此兩線顯得為同時處理。對於需要相同劑量之相同尺寸兩線，平行處理會加倍此所需雷射功率。在一功率限制系統中，此可能需要將速度降低大約 50%，而限制產量之優點。然而，此可以去除用於兩線之設定移動，且可以減少此取決於速度之動態限制、否則其會防止使用全速。在沒有此種功率限制之系統中，平行線處理會加倍該區段之產量。此外，在以上兩種情形中，此等線之平行處理可以改善線-線之間隔控制(其由 AOD 子系統 506 之重複性而控制)，而在一些應用中有益於控制線阻抗。

● **【00148】** 當此等線在一角落轉彎時，則取決於轉彎半徑、轉彎角度、以及線間隔，此兩線之路徑長度可以為不同。在某些此等實施例中，可以調整兩線之有效射束速度，而用於兩線區段之不同路徑長度。然後可以由 AOD 子系統 506 調變功率(劑量*速度)，而作為兩線間之處理開關。在以下情形中可以將相同方式延伸應用至多線：只要此線集合適用於可供使用 AOD 場中，且有足夠處理射束功率可供使用，以產生足夠高的速度。

【00149】 當多條線在其各整個路徑上無法保持平行時，此在相同時間處理多條線會變得複雜。在某些此等實施例中，如同在使用於相交處理之技術中，可以將適當區域平行地處理，且將一轉換區域應用至此區域之終

端(例如：傾斜流量)。然後可以處理其餘區段，且以類似轉換區域在終端接合。以此方式可以將所使用平行處理最大化，以增加產量。

【00150】 圖 13 說明根據一實施例之平行處理與區域接合。圖 13 說明多條線 1306(a)、1306(b)、1306(c)以及 1306(d)(其集體稱為線 1306)，其在第一區域 1308 中彼此平行進行，而在第二區域 1309 中彼此分開地進行。換句話說。此等線 1306 具有在第一區域 1308 中之平行部份，以及在第二區域 1309 中之分開部份。圖 13 說明此轉換區域 1310，在此處此等線 1306 從平行部份改變至分開部份。

【00151】 為了在第一區域 1308 中使用顫動以處理此等線 1306，AOD 子系統 506 將雷射射束點位置在此等線 1306 之平行部份之間來回移動，以致於此雷射射束沿著在第一區域 1308 中互相處理軌跡在單一通過中處理此平行部份。AOD 子系統 506 在此等平行部份之間調整有效射束處理速度，而用於沿著此處理軌跡之轉彎，此導致對應於各平行部份之不同路徑長度。AOD 子系統 506 亦根據此經調整有效射束處理速度，以調變雷射射束之功率，以維持用於各此等平行部份之所想要處理劑量。當抵達轉換區域 1310 時，此 AOD 子系統 506 將此三線 1306(a)、1306(b)、1306(c)之平行部份選擇地成形，同時繼續沿著其處理軌跡以處理線 1306(d)，而終止其在轉換區域 1310 中對此三個成形線 1306(a)、1306(b)、1306(c)之處理。此成形允許被終止處理之線 1306(a)、1306(b)、1306(c)在稍後之時點相交(藉由其各分歧部份)，同時在各相交處維持所想要之深度。在處理線 1306(d)之分歧部份之後，在第二區域 1309 中沿著其各分歧處理軌跡，依序處理此等線 1306(a)、1306(b)、1306(c)之分歧部份。

【00152】圖 14 說明根據一實施例之第三輪廓子系統 1400。第三輪廓是指使用 AOD 子系統 506 作為第三定位器(例如，除了 XY 平台與電流計子系統 508 之外)。一種範例雷射射束第三定位器是在美國專利案第 6,706,999 號中(其被受讓於本案之受讓人)說明，其在此整個併入作為參考。如同在此所揭示，此使用 AOD 子系統 506 之第三輪廓允許以高速率(例如：使用大約 $1\mu\text{s}$ 之更新以提供計時解析度)將射束路徑形成輪廓，其中，此 AOD 指令是在離散計時邊界發出。第三輪廓子系統 1400 包括：一輪廓濾波器 1404、一延遲元件 1406 以及一減法器 1408。

【00153】圖 14 說明範例射束輪廓 1410，其對應於所想要被切入於工件中之溝渠。此範例射束輪廓 1410 包括尖銳之轉彎，其難以使用電流計子系統 508 以高速追蹤。將此範例射束輪廓 1410(作為命令射束位置信號)提供給輪廓濾波器 1404 與延遲元件 1406。輪廓濾波器 1404 包括一低通濾波器，其將高頻內容濾除，電流計子系統 508 難以追蹤此高頻成份。輪廓濾波器 1404 之輸出可以使用作為電流計指令(電流計控制信號)，如同由位置輪廓 1412 所示。圖 14 說明位置輪廓 1412 之放大部份 1413，其顯示相對於由電流計子系統 508 所提供實際位置 1418 之命令位置 1416。使用 AOD 子系統 506 以修正在命令位置 1416 與實際位置 1418 間之差異。

【00154】在所說明之實施例中，輪廓濾波器 1404 包括一有限脈衝響應(FIR)濾波器。FIR 濾波器對於在任何頻率範圍中之信號自然地具有固定延遲。然而，熟習此技術人士由在此所揭示內容瞭解，亦可使用其他型式之濾波器。

【00155】延遲元件 1406 將範例射束輪廓 1410 延遲與由輪廓濾波器

1404 所導入大約相同延遲數量。減法器 1408 將延遲元件 1406 之輸出減去輪廓濾波器 1404 之輸出，以獲得由電流計指令所去除之高頻成份。此由減法器 1408 所輸出之高頻內容然後被作為 AOD 指令信號，用於控制 AOD 子系統 506。圖 14 說明範例 AOD 位置指令輪廓 1414。雖然並未揭示，可將此差異使用於位置指令輪廓 1414 上，以計算相對應速度與加速度指令輪廓。

【00156】作為進一步例子而並非限制，圖 15A、15B、15C、15D 以及 15E 說明根據一實施例，而由圖 14 中所顯示第三輪廓子系統 1400 所產生及/或使用之信號。圖 15A 說明此輸入至第三輪廓子系統 1400 之範例射束輪廓。圖 15B 圖示說明 X、Y 以及 XY 射束速度軌跡，其對應於圖 15A 之範例射束輪廓。圖 15C 圖示說明 X 與 Y 射束加速軌跡，其對應於圖 15A 之範例射束輪廓。圖 15D 說明範例電流計動態特性，其包括：指令位置、速度、以及加速度信號。圖 15E 說明範例第三(AOD)動態特性，其包括：被命令移動與誤差信號。

【00157】圖 16A、16B 及 16C 說明根據某些實施例之範例 AOD 指令序列。在圖 16A 中，此 AOD 指令序列以大約 $5\mu\text{s}$ 之間隔更新 AOD，其對準至 $5\mu\text{s}$ 邊界。此種實施例對於低速處理(例如：以大約 200mm/s 處理)為足夠。在圖 16B 中，一高速 AOD 指令序列以大約 $1\mu\text{s}$ 之間隔更新 AOD，其並未對準至計時邊界。在一些實施例中，難以執行任意計時(其更新並未對準於任何計時邊界)。例如：相交處理可能要求，AOD 轉換以大約 $1\mu\text{s}$ 之解析度、以大約 2m/s 至大約 3m/s 之高速度發生。為滿足此要求，以固定速度處理任意佈局可使用可變次微秒計時解析度。此外，可變速度處理為令人所欲以：對窄溝渠提供高速度用於增加產量；對寬溝渠提供較低速度以維

持流量；在掃描區域上減緩(或停止)以掃描內線(例如：減少或去除回復移動)；及/或如果須要則減緩，以改善電流計追蹤且將 AOD 保持在其範圍中。

【00158】 在一實施例中，計時是由：位置為主之 AOD 指令、與任意射束軌跡所提供。在此種實施例中，觸發是根據 XY 位置。因此，對於非線性射束定位軌跡，此觸發是取決於特徵位置，而根據 X 軸或 Y 軸。由於以下原因，此實施例可以具有增加場可程式陣列(FPGA)資料處理要求：當處理工件時，流線式先進先出(FIFO)觸發資料、即時位置指令資料(X 與 Y)、以及在處理期間所使用寬的動態範圍(例如：在整個場上之高解析度)。此實施例亦可使用指令觸發，其並不提供可變速度處理。

【00159】 在另一實施例中，計時是由：時間為主之 AOD 指令與修正射束軌跡所提供。此實施例會限制 AOD 指令轉換至區段邊界，其中此區段可以如同須要被次分割，以包括 AOD 指令。此實施例將區段對準於位置(而非時間)邊界，其將處理幾何與射束速度解除關聯。此實施例亦調整區段速度，以致於邊界並非在規律時間間隔出現，其提供：彈性可變處理速度；速度變化其容易以第三射束定位器執行；以及對於 AOD 轉換間隔合理限制。此種方式在例如脈衝雷射系統中有利，其可能須要在離散可預測時間邊界上之雷射脈衝控制。

【00160】 在圖 16C 中，以 $1\mu\text{s}$ 之間隔更新 AOD，且對準至離散確定之 $1\mu\text{s}$ 邊界。然而，特徵位置可以位於工具路徑中之任意位置。為了時間上對準此任意位置之特徵，要預先決定特徵間之速度。因此，在某些此等實施例中，使用在特徵之間從區段至區段之速度調變。圖 17A 與 17B 說明根據某些實施例之速度調變之例。在圖 17A 中，此速度調變使用根據位置

遞增之計時，此位置遞增對應於最適處理速度。在圖 17B 中，此速度調變藉由將計時對準於離散時間遞增(相同位置遞增)而調整速度。在某些實施例中，區段邊界之間之時間 Δ ，其額定等於 D_{seg}/V_{nom} (而 D_{seg} =區段長度，且 V_{nom} =最大處理速度)，而被進位至下一個離散計時邊界。在速度調變期間，可以將劑量保持固定(例如：藉由隨著速度改變而改變功率)。可以選擇最小位置遞增(ΔP_{min})與最大時間遞增(ΔT)，而將處理速度之相對下降限制為 $V_{nom} * \Delta T / \Delta P_{min}$ ，而 V_{nom} 為額定速度。例如：選擇 ΔT 為 $1\mu s$ ，且選擇 ΔP_{min} 為 $20\mu m$ ，以提供在 $3m/s$ 之 15% 速度變化。因為速度變化僅對短時間期間發生，其對於產量具有很少影響或不具影響。

【00161】 第三輪廓會產生由於離散 AOD 更新期間與 AOD 速度項之定位誤差。例如，圖 18 圖示說明根據一實施例之相對於位置指令信號 1812 與所產生 AOD 位置輪廓 1814 之定位誤差 1810。如同於圖 18 中所顯示，AOD 並不會以例如機械鏡相同方式在指令更新之間偏轉。因此，例如以 $3m/s$ 速度之 $1\mu s$ 更新期間會產生大約 $\pm 1.5\mu m$ 之定位誤差。如果須要限制此誤差可以將更新期間縮短。在某些實施例中，干擾此 RF 波形可以減少位置誤差。圖 15E 圖示說明一範例位置誤差。

【00162】 IX. 射束指向穩定化

【00163】 在提供良好準確度及/或重覆性之某些雷射處理應用中，此角度或平移射束抖動之貢獻會成為誤差預算之重要部份。此抖動可能由於：雷射源本身之射束移動；或射束路徑中空氣擾動(其由於在射束路徑中空氣溫度差異而放大)；及/或在此光學裝置序列中機械振動。在一雷射掃瞄系統中，當由掃瞄透鏡焦距調整時，角度誤差直接造成在工件之位置誤差。

- 射束平移誤差藉由在工件產生(未補償)射束角度而間接造成工件誤差；此角度由工件表面任何 Z 高度變化而調整，而在工件上產生 XY 射束定位誤差。

【00164】一配備有 AOD 偏轉能力之系統，例如在圖 5 中所顯示之系統 500，可以很少或沒有額外致動成本，而修正射束抖動。藉由沿著光學路徑(例如：靠近掃瞄透鏡 520)設置感測器(未圖示)，回饋控制可以命令 AOD 偏轉，以便將射束正確地定位於掃瞄透鏡 520 中，此可以改善射束位置準確度與重複性。許多射束抖動源之頻率成份可能相對的低(例如：對於空氣擾動小於大約 10Hz，且對於機械振動小於大約 500Hz)，且因此由 AOD 子系統 506 容易地修正。此種方式之限制因素可以為：使用於偵測射束角度與平移之感測器之雜訊成份。

【00165】當實施測量時，可設計 AOD 之故意偏轉(其被命令以產生所選擇之工件軌跡)。例如，在一光學裝置序列中，其中並未使用傳送光學裝置，以傳送 AOD 偏轉射束至掃瞄透鏡 520，當由 AOD 子系統 506 至掃瞄透鏡 520 之射束路徑長度調整時，此 AOD 偏轉角度會在掃瞄透鏡 520 上產生一平移偏移。一簡單校準允許在抖動修正之前，將此從測量去除。如果需要的話，可以實施此校準作為：AOD 子系統 506 至掃瞄透鏡 520 之路徑長度之函數。然而，通常，如果處理射束是聚焦於感測器上，則並不需要此種補償，因為橫向射束移動並不會影響在感測器之點位置。

【00166】請注意，抖動修正亦可以對於來自 AOD 操作之非所欲副效應實施，其例如為由於 AOD 加熱所產生射束熱飄移，此會對於高功率 AOD 裝置發生。

【00167】X. 處理改善：工作周期

【00168】 在一些實施例中，AOD 子系統 506 使得能夠作雷射/材料交互作用處理改善。在一例中，此切割進入介電材料中之溝渠之橫截面積是對於施加至工件之“劑量”(處理射束功率/射束速度)敏感。在一些應用中，為了最佳或改善性能表現，可以將所施加劑量保持得較材料去除臨界劑量高許多，以便避免熱影響區域(HAZ)效應，其例如為熔化或燒焦。可以將低速度使用於一些情況中，而由於射束定位器動態特性或雷射功率所施加之限制，此所施加之劑量會開始產生非所欲之 HAZ 效應。因此，根據一實施例，為了避免或降低 HAZ 效應，AOD 子系統 506 調變處理射束 512 之功率工作周期，以致於可以維持高尖峰功率，同時將平均功率降低至使用於特定操作條件之位準。例如：當以大約 100 mm/s 移動處理射束 512 時，以大約 10% 之工作周期(大約 1 μ s 導通、9 μ s 切斷)調變此射束，以產生大約 1 μ m 之可接受小之“切割尺寸”(每脈衝期間遞增處理長度)，同時相對於經衰減 100% 工作周期射束，將尖峰功率增加大約 10 倍(10x)。如同以上關於抖動修正之說明，可以添加此能力而需要很少或無需額外成本。

【00169】 XI. 處理改善：避免煙塵

【00170】 AOD 操作亦可以提供能力，以減少或避免在工件上或工件中靶材料去除期間之煙塵效應。此由工件去除之材料可以射出作為電漿、氣體或顆粒碎片，而會經由例如波前扭曲干擾、功率衰減、及/或指向效應，以影響處理射束點之品質。為了減輕此根據一實施例之煙塵效應，在處理期間將此處理點之位置切換，以致於各點並不受先前點之煙塵效應之影響。如果此處理點位置可以在可供使用 AOD 場據距離(Daod)上 N 個位置間切換(而以所有點沿著所選擇處理軌跡設置)，則當以處理速度 V 進行時，此

- 向前處理點之煙塵在其影響下一點之前，可以有 $Daod/V/N$ 秒以擴散。例如：當位置 $N=5$ 、 $Daod=50\mu m$ 以及 $V=2m/s$ 時，在其影響到下一點之前，此向前處理點之煙塵會有大約 $5\mu s$ 可以擴散。當此處理軌跡包括彎曲區段時，可以調整此等所分佈點之位置，以保持在所選擇之軌跡上。

【00171】 XII. 透過透鏡視野

● 【00172】 在雷射處理機器中，將處理射束對準於工件特徵。此對準可以藉由以一對準攝影機辨識工件對準基準而實施，且然後將攝影機之視野經由校準而映射至處理射束位置。然而，速率與效率會降低，這是因為此使用兩步驟過程(此涉及雷射-至-攝影機校準誤差、與攝影機基準辨識誤差)，以及因為攝影機掃瞄透鏡彼此分開，此由於定位平台之重複性與準確度而會增加另一種不確定性。

- 【00173】 在某些實施例中，更令人所欲使用透過透鏡視野，以擷取在一影像中之處理射束與工件視野，其使得能夠測量射束與基準靶間之相對位置。此可以藉由設計於圖 5 中所顯示之掃瞄透鏡 520 在兩個波長(一處理波長與一視覺波長)操作而達成。在掃瞄透鏡之設計中經常會作妥協，以容納處理波長與視覺波長。一實施例藉由在當形成基準影像時，以處理射束波長照射工件 524 而克服此妥協。

● 【00174】 例如，圖 19 為根據一實施例之系統 1900 方塊圖，其使用掃瞄照射之 AOD 子系統 506 而用於透過透鏡之視野。此系統 1900 亦包括：一攝影機 1910、一影像透鏡 1912、一鏡 1914、一部份反射器 1916、以及一掃瞄透鏡 520。如同以上參考圖 5 所討論，此 AOD 子系統 506 包括：AOD 530 與 532，其用於將處理射束 512 偏轉而提供給掃瞄透鏡 520，其提供一

聚焦雷射射束 525 至工件 524。可能難以找出一照射源，其具有與處理射束 512 相同波長，且使用不同波長(即使在幾個奈米中)會使得檢視解析度退化。

【00175】 反而是，可以將處理射束 512 之一部份分解，且使用於照射工件 524。此可以用分光器與擴散器而實施，而此會增加額外光學組件、對準、以及複雜度。因此，在圖 19 中所顯示之實施例中，使用 AOD 子系統 506 以照射工件 524，其使用掃描樣式以均勻流量填入於工件 524 上之區域，且包括一較高強度之參考點，而使用作為將處理射束對準於工件 524 之參考。此部份反射器 1916 擷取由工件 524 所反射之光線，此鏡 1914 將此所反射光線重新導向經由影像透鏡 1912 將此影像聚焦於攝影機 1910 上。增加光學路徑以擷取由工件 524 所反射光線、且將其重新成像於掃描透鏡 520 中，此允許攝影機 1910 形成工件 524 與參考點之影像，且判斷射束至基準之相對對準。

【00176】 在圖 19 中所顯示之實施例亦可提供能力，以判斷正確掃描透鏡 Z 高度調整以維持點焦點(將在對準攝影機中之點尺寸最小化)。記錄在三至五各別透鏡 Z 高度此重新影像點尺寸，則在期望點尺寸成長 vs Z 高度之曲線適用後，可以提供足夠資訊以導出最適點位置。

【00177】 此對準技術提供非常好射束-至-基準對準準確度(例如：小於點尺寸之大約 10%)，此可以提供能力快速地對準在工件上兩個各別掃描範圍區域，因為在工件上 XY 位置可以相同而用於處理與對準。藉由將一掃描範圍之點對準於相鄰掃描範圍之處理特徵，則可以各別地處理兩個處理範圍，而以高準確度將其接合在一起。

【00178】 此透過透鏡視野之額外特徵為其能力以映射：在被處理部份

表面上之射束定位誤差。此處理在此種大範圍上一部份之挑戰為，此射束可以為非遠心的(telecentric)(例如：此在工件之射束角度可為非零或不正常)，且在此範圍上變化。此角度乘以任何 Z 高度變化會產生 XY 定位誤差。此用於大範圍掃瞄透鏡之遠心角可一直至大約 15 度。工件表面變化可為大約 $\pm 100\mu\text{m}$ 。因此，此遠心角度與工件表面變化之組合可產生 XY 誤差一直至大約 $\pm 26\mu\text{m}$ (相對於例如在大約 $10\mu\text{m}$ 與大約 $20\mu\text{m}$ 間範圍中之誤差預算)。藉由使用此透過透鏡視野以記錄在此範圍中數個點之位置偏差(有足夠樣本以準確地映射在此處理範圍上此部份之 Z 地形)，而可將遠心誤差去除。可使用在工件上一組參考基準，以致於可準確地測量相對於基準之處理點之位置(至數微米之內)。在此透過透鏡設置中點位置之絕對測量可能為困難。然而，點位置測量可在對準期間實施或在部份處理期間即時地實施。

【00179】 XIII. 範例 AOD 控制實施例

【00180】 (a) 導論

【00181】 在此段落說明：此根據一實施例之使用 AOD 控制結構之 LDA 處理，此包括範例式，以判斷在處理期間 AOD 偏轉指令。

【00182】 此 AOD 提供至少兩個功能：(1)射束位置顫動，以擴張處理射束尺寸，以及(2)振幅調變，以使得能夠在去除特徵上作斜坡控制。斜坡控制為在特徵相交處獲得可接受深度變化之一觀點。

【00183】 在此例中，經由 FPGA，將 AOD 頻率與振幅調變指令更新。例如，圖 22 為根據一實施例之在 FPGA 2200 中所執行 AOD 之控制資料流之方塊圖。此額定更新期間為大約 260ns。可以將基本顫動表 2210 以每個應用為基礎載入於 FPGA 2200 中。在處理期間，此顫動樣式是在兩個 AOD

軸之間動態地調整與分開。此外，振幅調變指令動態地控制雷射功率。

【00184】 由在此所揭示內容，熟習此技術人士瞭解，此結構可以被延伸以包括，例如：不同組之顫動波形、電流計誤差修正及/或輪廓協助。

【00185】 (b) 一般定義

【00186】 XY 射束定位軸並未與 AOD 軸對準(由於在電流計區塊內旋轉鏡之角度)。因此，在此例中，AOD 軸稱為軸 0 與軸 1，而非軸 X 與軸 Y。

【00187】 顫動：此為對於一或兩個 AOD 軸快速地改變頻率指令之過程。此在工件上或工件中處理射束之位置為 AOD 頻率指令之線性函數。

【00188】 F0：AOD 頻率指令，軸 0。

【00189】 F1：AOD 頻率指令，軸 1。

【00190】 Fnom：用於零偏轉之額定 AOD 頻率指令(額定 110MHz)。

【00191】 Fd { 1..Nd }：一組偏轉頻率，其包括上述之“顫動表”2210

【00192】 Nd：偏轉頻率點之數目。

【00193】 Kw：顫動寬度調整因素。Kw=0 用於無顫動(額定處理射束)。

【00194】 W0：額定寬度(用於未顫動處理射束)。

【00195】 Wmax：用於完全 AOD 偏轉之最大寬度

【00196】 Lwc：寬度-改變轉換之長度

【00197】 Wk：處理區段 k 終端之寬度

【00198】 Theta0：顫動角度偏差。在此角度切割路徑，相對於系統 XY 軸偏轉 AOD1 將溝渠加寬。相對於 X 軸、正 CCW 以界定角度。

【00199】 Vx = X 軸速度

【00200】 Vy = Y 軸速度

【00201】劑量：基本處理參數以判斷溝渠品質；界定為功率/速度，或 $W/(m/sec)=(J/sec)/(m/sec)=J/M$ 。在處理期間，可以界定劑量而用於在焦點之額定(未顫動)處理射束。

【00202】 (c) AOD 頻率更新

【00203】以下式說明根據一範例實施例在處理期間產生 AOD 頻率指令之過程。對於變數使用指數，其如同以下說明是由 SCC 流出或由資料表取出。計算或測量非指數變數，在此例中，有“j”個處理區段(變數計時)，以及來自 FPGA 2200(額定 260ns)之“k”個更新

【00204】注意 DSP 與 FPGA 2200 之更新期間為額定，且可以取決於產量(對於 DSP)或 AOD 驅動器性能表現(對於 FPGA 2200)而(例如：在 0.1 至 5.0 μ sec 範圍中)調整。

【00205】 (c-i) 直線處理

【00206】對於 $W\{j\}$ = 用於目前處理區段之寬度

$$Kw = (W\{j\} - W0)(Wmax - W0)$$

$$Theta = \text{atan}(Vy/Vx) - Theta0$$

$$Fo = Fnom + Fd\{k\} * Kw$$

$$Fo = Fo * \cos(Theta)$$

$$F1 = Fo * \sin(Theta)$$

【00207】 (c-ii) 角落處理

【00208】如果處理軌跡改變方向，則在轉彎區段期間動態地改變 Vy 與 Vx 。此轉彎是以(額定)固定切線速度($Vx^2 + Vy^2 = \text{常數}$)實施。若已知最初與最後角度，則可以內插 $Theta$ 作為時間函數。

【00209】 可以選擇性地限制工具路徑，而僅使用平滑區段，以致於角落為連續且為正弦輪廓(或對於正弦輪廓之適當近似)而實施，此特別是用於寬線而 $K_w > 0$ 。

【00210】 (c-iii) 寬度改變

【00211】 在寬度改變期間，即時地更新顫動因素 K_w 。

【00212】 使

T_{seg} = 處理寬度改變區段之累積耗用時間(時間函數)，

$V [j] = V [j-1]$ = 處理區段速度，

L_{wc} = 寬度改變處理區段之長度。

【00213】 此即時寬度可以為時間函數，而可以為

$W = W [j-1] + (W [j] - W [j-1]) * T_{seg} / L_{wc} / V [j]$ ，

且其顫動因數 K_w 可以為：

$K_w = (W - W_0) / (W_{max} - W_0)$

【00214】 (d) 功率調變

【00215】 (d-i) 操作模式

【00216】 在 AOD 子系統中之功率調變可達成數個目的，其包括：射束“遮蔽”(導通/切斷)(on/off)；在處理期間，以中等更新速率(大約 0.1 至 5 μ s)調變功率；且在偏轉顫動期間，以高更新速率(大約 260 至 2000ns)調變功率。

【00217】 在此例中藉由驅動器數位調變離散輸入(DMOD)，以提供射束“遮蔽”。用於處理控制與顫動之功率調變是藉由 AOD 驅動器類比調變輸入(AMOD)而提供。

【00218】 可以使用“遮蔽”用於導通/切斷控制，以提供實質上完全去

除(即使以零指令，類比調變可能會有洩漏功率)。此在例如用於模式鎖定而並無 Q-開關控制時為有用。

【00219】 處理功率調變之用意為：當速度動態地改變時，維持用於工件特徵之所想要劑量(功率/速度比)，或在相交處形成特徵終端壁斜坡。

【00220】 顫動功率調變具有至少兩個目的：(1)將繞射效率正常化為偏轉指令之函數；以及(2)形成射束強度輪廓作為偏轉位置之函數，其被使用在終端壁產生經控制斜坡。斜坡控制(特別是，減少之斜坡角度)可以在所去除特徵之相交處改善深度控制。

【00221】 (d-ii) 處理功率調變

【00222】 調變功率作為劑量與速度之函數。速度在加速與減速區段期間改變，且劑量可以在此等區段中改變，劑量可以在具有不同寬度兩個區段之劑量間轉換，或轉換至不同深度：

$$\text{Dose} = \text{Dose} [j-1] + (\text{Dose} [j] - \text{Dose} [j-1]) * \text{Tseg} / (\text{Lwc} / \text{V} [j])$$

且處理功率藉由劑量與速度之乘積而調變：

$$P = \text{Dose} * V$$

【00223】 功率可以藉由在 AOD 之衰減而控制，可以校準 AOD 而將其衰減響應線性化。在處理一部份之前，可以測量最大(未衰減)功率位準 Pmax。因此：

$$\text{Atten} = P / P_{\text{max}}$$

【00224】 (d-iii) 高速功率調變(“成形”)

【00225】 高速振幅調變是與定位顫動同步以產生強度，以便將側壁斜坡控制形成輪廓，以支持正確之相交處理。此被知為射束之強度輪廓之“成

形”。請注意，此調變應不與在此所討論之高速線性化補償混淆，因為此可以為兩個各別步驟。由於以所想要的速率(例如：大約 260ns 之更新速率)，高速調變可以在 FPGA 查詢表(LUT)中執行。

【00226】 調整因子 K_s 可以調整強度成形，此類似於上述偏轉顫動。此調整允許只將成形使用於相交，因此在寬特徵長的執行期間可以避免或減少重大功率損失。

【00227】 給定：

N_d = 在顫動表 2210 中項目之數目(例如：大約 256 個項目)

$\text{Shape} [k]$ = 成形值之表 2212(0 至 1； N_d 項目)

K_s = 成形調整因子(0 至 1；以 0.1 至 $5\mu\text{s}$ 速率更新)

成形表 2212 之調整由下式所給定：

$$K_{\text{shape}} = 1 - \text{Shape} [k] * K_s \text{ (k 在 1 與 } N_d \text{ 之間持續循環)}$$

【00228】 請注意，一種所有 1 之 $\text{Shape} []$ 表 2213 實際上對應於 0 功率(對於 $K_s=0$)。因此，此表可以載以 $(1 - \text{NomShape})$ ，而使用者設定 $\text{NomShape} = 1$ 用於全功率，以及 0 用於零功率。

【00229】 (d-iv) AOD 響應與線性化

【00230】 以上所說明之功率調變模式假設：振幅調變指令在射束功率中產生線性響應。然而，AOD 對於振幅調變指令之響應可以為非線性。且因此可以被正常化。

【00231】 當其 RF 驅動振幅改變時(以此 RF 頻率決定偏轉振幅)，AOD 將輸出射束功率衰減。此衰減特徵可以正弦函數近似，而在振幅調變指令之某值作尖峰傳輸(最小衰減)。此關係由“繞射效率”(DE)曲線說明，而類似

於圖 20 與 21 中所說明者。對於單一 RF 頻率(因此固定偏轉角度)，此調變曲線可以經由單一查詢表(LUT)而線性化。

【00232】 當使用不同 RF 頻率(偏轉位置)時，則會變得複雜。此 DE 曲線之尖峰會在不同調變指令發生，且此 DE 尖峰值可變化作為 RF 頻率之函數。雖然此效應並不重要(例如：對於小的偏轉範圍是大約 10%至大約 20%之等級、5-10 點直徑等級)，但是其可足夠大而引起一些處理應用之關切。

【00233】 為將此適當地正常化，可將一獨特振幅調變修正 LUT 應用於特定頻率範圍。對於某些實施例，其中偏轉範圍為中等(例如：大約 3 至 5 點直徑)，則八個查詢表(LUT)為足夠。對於各 AOD 軸可以使用一組 LUT。

【00234】 LUT 可以提供直接映射至：振幅調變指令、或線性化調整因子。此調整因子之執行可以減少資料點數目及/或內插之需求。在圖 22 中顯示調整之執行。

【00235】 因為某些 AOD 操作模式可以使用快速(例如：大約 4MHz)振幅調變，可以將 AOD 修正應用至(以 FPGA 位準)各頻率指令更新。

【00236】 (d-v) 振幅調變總結

【00237】 總而言之，振幅調變可以由三個衰減因子之乘積而產生(1)處理功率，(2)快速振幅調變(與位置顫動同步)，以及(3)頻率依賴線性化。此完整功率調變序列可以說明如下：依據劑量與速度(功率=劑量*速度)，設定處理功率調變值(Kpwr)(每處理更新期間一次)；由顫動表 2210 計算頻率指令(每顫動更新循環一次)；計算高速振幅調變值(Kshape)(每顫動更新循環一次)；由 $AttenDes = Kpwr * Kshape$ 而給定所想要之衰減指令；以及藉由線性化 LUT 且根據目前頻率指令與 $AttenDes$ 以產生振幅調變指令。

【00238】 圖 22 說明 FPGA AOD 控制區塊，其包括：位置顫動、成形衰減、低速衰減以及線性化之細節。

【00239】 請注意，在某些實施例中，只需一個 AOD 以控制功率。此可能優點為將類比調變指令對 AOD 頻道(Ch0)保持固定，因為 AOD 在“飽和”或全面振幅調變中更可預測地操作。此第二 AOD(Ch1)控制射束衰減。

【00240】 仍然使用線性化表 2214 將 Ch0 之光學效率線性化。下列三者之乘積為 Ch1 所選擇衰減(Atten1)：Ch0 衰減指令(Atten0)、整體低速衰減指令(Kpwr)以及顫動衰減(Kshape)。此由 Ch1 線性化表 2215 處理，而產生 Ch1 類比調變指令。

【00241】 將用於 Ch0 之 Ch0 類比調變指令輸出保持在 1。然後，此用於 Ch0 之線性化表 2214 為單一參數(頻率指令)之函數。Ch1 線性化表 2215 保持為所選擇衰減與頻率指令之函數。

【00242】 (e) 解析度與計時

【00243】 現在將以上說明用於資料之最小解析度與更新速率總結於以下表中。較高解析度與較快更新速率是可接受的。雖然以下並未討論，如果使用雷射所具有脈衝重複頻率靠近顫動更新頻率，則 RF 頻率更新可以與雷射脈衝計時同步。

【00244】 可提供等待修正 2216，將功率控制與射束定位同步。在相交處理期間之協調公差為：在工件之大約 $1\mu\text{m}$ 至大約 $2\mu\text{m}$ 等級。對於大約 1m/s 至大約 2m/s 之處理速度，此所使用功率協調所具有解析度大約為 $1\mu\text{s}$ 。

【00245】 可將此協調使用於至少兩個區域。在兩種情形中，交叉處理之品質取決於相交溝渠之壁斜坡之控制。

【00246】 (e-i) 成形振幅調變

【00247】 成形振幅調變之目的在於：以與顫動頻率同步之振幅調變，而形成溝渠特徵之側壁。可以使用等候源例如：DAC 轉換及/或 AOD 驅動器響應。在一實施例中，此成形表 2212 相對於頻率顫動錶 2210“偏斜”，這是因為用於各表之更新期間小於 1 微秒。

【00248】 (e-ii) 低速振幅調變

【00249】 振幅調變之目的為一般處理控制、例如劑量控制，以維持所想要的特徵深度。一種情形為在相交溝渠之終端之功率控制。在此種情形中，功率被快速地衰減，而在適當位置產生適當的終端壁斜坡。對於終端壁斜坡控制而在相交處貢獻小於大約 5% 之深度變化，且假設 20 μm 終端壁轉換區域，則使用 1 μm 之定位準確度(由於計時與射束定位器定位)。如果以大約 1m/s 處理，則所使用之計時準確度小於大約 1 μs 。

【00250】 此種相交處理之一種方式為，移動此射束定位器以固定速度通過相交處(而將對定位系統之干擾最小化)，且計時此劑量減少，以致於在正確位置轉換。等候效應可以藉由移動此轉換位置(等候*速度)而處理。但是此可能是危險的，這是因為在速度中之任何變化(例如：增加處理速度)，會有移動轉換點之副效應。因此，等候調整 2216 可以藉由調整相對應於射束定位器之劑量控制計時而達成。

【00251】 此提前與延後調整可藉由以下方式實施：以多個指令更新期間(Tupdate)而延遲此射束定位器位置指令，且調整用於部份延遲時間之劑量延遲參數。此部份延遲可以在此劑量指令被傳送至 AOD 子系統之前，由 FIR 濾波器在劑量指令上實施。此用於延遲小於更新期間之濾波器之例為：

$$Dout [k] = (1-Cd) * Dcmd [k] + Cd * Dcmd [k-1] ,$$

其中

Dout = 至 AOD 子系統之等候修正劑量指令，

Dcmd = 來自指令流之劑量指令，

K = 時間指數，

Cd = 等候係數=延遲/Tupdate，

【00252】 以下為一表，其總結根據一實施例使用於 AOD 更新計算之範例參數與資料表。

【00253】

變數	最小更新期間	資料來源	解析度 (位元)	陣列 尺寸	註解
Kpwr	5 μ s	嵌入式 SW	12	純量	處理功率衰減指令
Ks	5 μ s	嵌入式 SW	12	純量	成形振幅調整(溝渠形狀)
Kw	5 μ s	嵌入式 SW	8	純量	顫動位置調整(溝渠寬度)
Fd	260ns	FPGA-表	8	256x1	顫動頻率指令
Shape	260ns	FPGA-表	12	256x1	高速振幅調變(顫動振幅控制)
Klin	260ns	FPGA-表	12	256x8	振幅調變線性化修正
Attn Delay	N/A	載入一次	8	純量	具有電流計位置作同步振幅調變
Freq Delay	N/A	載入一次	8	純量	具有電流計定位之同步位置顫動
Fnom	260ns	嵌入式 SW	8	純量	中央頻率

【00254】 XIV. 範例相交處理實施例

【00255】 (a) 導論

【00256】 此段落概要說明在雷射處理期間用於產生相交特徵之方式。此型式處理協助產生功能雷射處理系統，且可在系統設計中之挑戰。

【00257】此根據某些實施例而用於去除特徵之相交處理挑戰是由於：大約 $\pm 10\%$ 之所想要深度變化控制。此對於深度控制公差之原因包括：電壓崩潰(從跡線至在下面之接地平面)、漏電、以及阻抗變化。

【00258】 (b) 基本方式

【00259】此具有累積雷射流量之去除特徵之深度大約為線性。因此，相交處之雙重曝光會導致大約 100% 之深度變化。為了避免此種情形發生，藉由在相交點停止切割“對接溝渠”而產生相交。使用此方法之深度變化取決於處理射束之形狀，其可以經由位置與振幅調變而修正。

【00260】 (b-i) 高斯射束

【00261】此系統可以切割相交特徵，以致於其在將深度變化最小化之最適重疊點終止。然而，所累積高斯射束流量會使得此為困難。圖 23 說明在處理交叉之前之額定溝渠與對接溝渠。圖 24 說明沿著圖 23 中所示對接溝渠軸之橫截面。請注意，此對接溝渠之終止斜波之橫截面小於額定溝渠之橫截面，此可能是由於對接溝渠頭部所累積流量所產生。如果斜坡不匹配，則無法產生完美之相交。圖 25 與圖 26 說明最適相交之結果，其具有大約 $\pm 10\%$ 之深度變化。此相交不允許用於位置變化之公差。

【00262】 (b-ii) 顫動射束

【00263】當此處理射束並未顫動時，此所產生之溝渠斜坡是由(固定)高斯點直徑所決定。藉由顫動此垂直於溝渠軸之處理射束，可以修正側斜坡，以致於相鄰與額定斜坡幾乎相同，且較不陡峭(參考圖 27 與 28)。在最適相交點，其深度變化小於大約 2%(參考圖 29 與圖 30)。然而，對於定位誤差之敏感度可能仍然無法接受。例如：1 μm 之位置誤差可以產生大於 10

%之深度變化。

【00264】 (b-iii) 斜波成形

【00265】 顫動射束可以改善相交，因為顫動可以減少相交處理射束之傾斜。然而，藉由顫動射束位置同時保持射束功率固定僅可以將斜坡中等程度地減少。溝渠斜坡之額外控制可以藉由以下方式提供：調變顫動射束之功率，作為用於“額定”溝渠顫動位置之函數(以控制側壁斜坡)；及/或當對接溝渠接近此相交處時，調變射束之功率(以控制側壁斜坡)。

【00266】 假設相交定位誤差公差為 E_{bp} ，且所允許相對深度變化為 Δ ，則此斜坡轉換區域之寬度給定為 $W_s = E_{bp}/\Delta$ 。例如：若 $E_{bp} = 1\mu\text{m}$ 且 $\Delta = 0.05(5\%)$ ，則 $W_s = 20\mu\text{m}$ 。

【00267】 一種產生控制斜坡之簡單方式為：以在轉換區域上從 0 至 1 之線性上升(使用額定溝渠之顫動調變，以及在對接溝渠上之位置依賴調變)，形成 AOD 衰減之輪廓。此所產生之累積流量為振幅調變與位置輪廓之捲積。此衰減曲線之“平坦頂”部份等於射束直徑，而保持轉換斜坡防止受到相對斜坡之影響。

【00268】 圖 31 說明額定與對接溝渠對，其具有在轉換斜坡上 $20\mu\text{m}$ 之寬度。圖 32 說明在相交之前溝渠之橫截面。在此情形中，額定溝渠僅有一壁為傾斜，而同時並未成形對接溝渠之輪廓。此成形可以令人所欲將產量之影響最小化。此成形可以經由衰減而執行，且因此降低雷射有效功率與產量。如果額定與對接溝渠是以不同顫動樣式形成，則可以調整此施加至兩個溝渠之有效劑量(J/m)，而將溝渠深度正常化。

【00269】 圖 33 說明具有最適定位之完成相交，而圖 34 說明在最適位

置所產生之深度變化，其具有 $\pm 0.1\mu\text{m}$ 之公差。如同所期望，給定大約 $\pm 1\mu\text{m}$ 之定位誤差，此 $20\mu\text{m}$ 之寬度轉換產生大約 $\pm 5\%$ 深度變化。

【00270】 (b-iv) 交叉式相交

【00271】 此先前所提供範例在相交深度上有良好控制，其代價為較寬之溝渠尺寸。如果顫動機構之行進範圍受到限制，此可能成為問題，而此為 AOD 之情形。減少顫動行進範圍之另一種方式為：處理此具有交叉而非對接溝渠之相交。各溝渠是在相交之對稱“槽口”處理，而槽口之深度等於額定溝渠深度之一半，對於相同溝渠寬度其側斜坡可以為一半陡峭。因此，對於相同顫動寬度，此交叉方式對定位誤差之敏感度為相鄰方式之一半。

【00272】 根據某些實施例，雖然此交叉式相交會產生“T”相交一側上之短突出部，此突出部之短的長度(幾微米)會造成最小阻抗效應。反之，此方式允許對於兩個相交溝渠使用相同處理，且簡化交叉式(非-“T”)相交之處處理簡化。

【00273】 圖 35、36、37 及 38 說明根據某些實施例使用槽口之交叉式相交之性質。當使用先前範例一半之顫動寬度時可達成相同的位置公差。

【00274】 圖 39 說明 T 相交之一實施例，其在相交處產生較小之突出部(幾微米長)。如同先前所討論，此在圖 39 中所顯示之實施例可以使用在相交處之槽口而產生。當此所產生溝渠被電鍍用於電性傳導時，此所產生之突出部對阻抗造成很小影響或不會造成影響。

【00275】 (c) 處理參數定義

【00276】 為了適當處理相交，根據某些實施例而定義用於位置顫動、振幅顫動以及功率控制之參數。此等參數取決於應用之各種性質，例如：

額定高斯點尺寸、溝渠深度、溝渠寬度以及處理速度。在以上說明之範例結構中，使用 PFGA 查詢表而產生高速振幅與位置顫動參數。根據某些實施例以相同顫動參數而產生所有相交，以避免具有多個顫動表之過度複雜度。此暗示著使用相同顫動參數用於相交而應用於產生寬溝渠是可以接受的。另外實施例包括載入多個顫動表用於不同特徵型式。

【00277】 為了處理相交，可以實施以下步驟之至少一些：改變至此所想要相交之速度(例如：根據準確度、指令更新速率以及其他處理因素)；改變寬度(顫動位置)與劑量(以維持深度)；改變橫截面形狀(顫動振幅)與劑量(如果需要以維持深度)；減少劑量(產生相交斜坡)；將劑量維持在額定之一半而用於某距離(此可以為選擇性的)；增加劑量(產生相對相交斜坡)；改變橫截面形狀(顫動振幅)與劑量(如果需要以維持深度)；改變寬度(顫動位置)與劑量(維持深度)；以及將速度改變回至額定速度。

【00278】 在某些實施例中，可以依序地且各別地完成此等步驟，以避免會影響深度控制之交互作用(例如：當將寬度與速度改變組合時，可以使用非線性功率控制)。

【00279】 圖 40 說明根據實施例之在相交處之動態劑量與形狀控制。

【00280】 熟習此技術人士瞭解，可以對於以上所說明實施例之細節作許多改變，而不會偏離本發明之原理。因此，本發明之範圍應僅由以下申請專利範圍所決定。

【符號說明】

【00281】

100 聲光偏轉器(AOD)

110	壓電轉換器
112	晶體
113	射頻(RF)驅動器
114	聲波
115	入射雷射射束
116	第一等級射束
118	零等級射束
120	第一等級偏轉角度
122	射束收集器
412	範例 RF 頻率操作範圍
414	高頻率小範圍
416	較低頻率較大範圍
500	系統
506	聲光偏轉器(AOD)子系統
508	電流計子系統
510	雷射源
512	處理射束
513	第一等級射束
514	聲光偏轉器(AOD)偏轉角度
515	零等級射束
516	射束儲存器
518	固定鏡
520	掃瞄透鏡
522	雷射射束點
524	工件

525	聚焦雷射射束
526	處理軌跡
528	溝渠
530	第一聲光偏轉器(AOD)
532	第二聲光偏轉器(AOD)
533	第一電流計鏡
534	雷射射束點
535	第二電流計鏡
540	系統
542	繞射光學元件
544	光學元件
546	傳送透鏡
550	系統
552	傾斜處理射束
554	間隔
600	方法
610	建立步驟
612	計算步驟
614	編輯步驟
616	計算步驟
618	計算步驟
620	施加步驟
900	雷射處理系統
910	位置感測二極體
912	電流計子系統

914	參考射束源
916	參考組合鏡
918	參考射束
920	處理射束
922	聚焦處理射束
924	電流計鏡
926	位置感測二極體(PSD)擷取鏡
928	位置感測二極體(PSD)透鏡
1010	溝渠相交
1012	墊相交
1014	具有緊密轉換之墊相交
1110	電流計路徑
1112	處理路徑
1114	AOD 指令信號
1306	線
1308	第一區域
1309	第二區域
1310	轉換區域
1400	第三輪廓子系統
1404	輪廓濾波器
1406	延遲元件
1408	減法器
1410	射束輪廓
1412	位置輪廓
1413	位置輪廓之放大部份

1414	AOD 位置指令輪廓
1416	命令位置
1418	實際位置
1810	定位誤差
1812	位置命令信號
1814	AOD 位置輪廓
1900	系統
1910	攝影機
1912	影像透鏡
1914	鏡
1916	部份反射器
2200	場可程式陣列(FPGA)
2210	顫動表
2212	成形表
2213	1
2214	線性化表
2215	線性化表
2216	等候修正

申請專利範圍

1.一種用於將工件進行微機械加工的雷射處理系統，其包括：

聲光偏轉器（AOD）子系統，其包括：

第一 AOD，其經過配置以接收被輸入所述 AOD 子系統的雷射射束，其中在被第一射頻（RF）信號驅動時，所述第一 AOD 操作上產生聲音波形，所述聲音波形在此處足夠以第一方向偏轉被輸入的所述雷射射束，並且從而輸出第一經偏轉雷射射束；

第二 AOD，其經過配置以接收所述第一經偏轉雷射射束，其中在被第二 RF 信號驅動時，所述第二 AOD 操作上產生聲音波形，所述聲音波形在此處足夠以垂直於所述第一方向的第二方向偏轉所述第一經偏轉雷射射束，並且從而自所述 AOD 子系統輸出第二經偏轉雷射射束；

電腦，其耦合至所述第一 AOD 和所述第二 AOD，並且操作上執行機器可讀取指令以控制所述第一 AOD 和所述第二 AOD 的運作；以及

機器可讀取媒體，其耦合至所述電腦，所述機器可讀取媒體具有儲存於其上的指令，所述指令在被所述電腦執行時致使從所述第一 AOD 和所述第二 AOD 所組成的群組中選擇出至少一者，以在此處產生經干擾（chirped）聲音波形。

2.如請求項 1 所述的系統，其進一步包括定位器，用以給予雷射射束點位置沿著處理軌跡相對於所述工件的所述表面的第一相對移動。

3.如請求項 2 所述的系統，其中所述定位器是從包括電流計驅動(galvo)

子系統和快速操控鏡（FSM）子系統的群組中選擇出。

4.如請求項 2 所述的系統，其中所述電腦耦合至所述定位器，並且操作
上執行機器可讀取指令以控制所述定位器的運作；以及

其中所述機器可讀取媒體具有儲存於其上的指令，所述指令在被所述
電腦執行時致使所述 AOD 子系統給予所述雷射射束點位置沿著垂直於所
述處理軌跡的方向中的第二相對移動，其中所述第二相對移動重疊在所述
第一相對移動上，並且其中所述第二相對移動的速度實質上大於所述第一
相對移動的速度。

5.如請求項 4 所述的系統，其中所述機器可讀取媒體具有儲存於其上的
指令，所述指令在被所述電腦執行時致使所述 AOD 子系統更改所述雷射射
束之強度輪廓，作為沿著垂直於所述處理軌跡的所述方向中的偏轉位置函
數，從而在垂直於所述處理軌跡的所述方向中選擇地成形所述特徵。

6.如請求項 5 所述的系統，其中所述機器可讀取媒體具有儲存於其上的
指令，所述指令在被所述電腦執行時致使所述 AOD 子系統根據沿著垂直於
所述處理軌跡的所述方向中的所述雷射射束點位置，來調整所述雷射射束
的平均流量。

7.如請求項 6 所述的系統，其中所述機器可讀取媒體具有儲存於其上的
指令，所述指令在被所述電腦執行時致使所述 AOD 子系統根據沿著所述處
理軌跡中的偏轉位置，來調整所述雷射射束的功率振幅的平均流量。

8.如請求項 1 所述的系統，其進一步包括：

成形元件，其用於成形所述雷射射束的強度輪廓；以及

中繼透鏡，其經定位以接收來自所述 AOD 子系統的所述雷射射束，並

且將所述雷射射束保持集中在所述成形元件的孔徑上，以獨立於由所述 AOD 子系統提供給所述雷射射束的偏轉角度。

9.如請求項 8 所述的系統，其中所述成形元件包括繞射光學元件。

10.如請求項 1 所述的系統，其進一步包括雷射源，所述雷射源操作上產生雷射射束，其中所述聲光偏轉器（AOD）子系統的輸入光學上耦合至所述雷射源的光學輸出。

11.如請求項 10 所述的系統，其中所述雷射源是脈衝雷射源。

12.如請求項 1 所述的系統，其進一步包括掃瞄透鏡，其中所述聲光偏轉器（AOD）子系統的輸出光學上耦合至所述掃瞄透鏡。

13.如請求項 12 所述的系統，其進一步包括：

中繼透鏡，其經定位以在相對於所述掃瞄透鏡的經選擇位置處接收自所述 AOD 子系統輸出的所述雷射射束，使得所述雷射射束在所述工件的所述表面處的人射角度對應於所述雷射射束被所述 AOD 子系統偏轉的角度。

14.如請求項 1 所述的系統，其中所述機器可讀取媒體具有儲存於其上的指令，所述指令在被所述電腦執行時致使所述第一 AOD 和所述第二 AOD 中的每一者，以在此處產生經干擾聲音波形。

15.一種用於雷射處理工件中的特徵的方法，其包括：

產生雷射射束；

使所述雷射射束通過第一聲光偏轉器（AOD）的同時產生經干擾聲音波形，所述經干擾聲音波形在此處足夠以第一方向偏轉所述雷射射束，以產生第一經偏轉雷射射束；

使所述雷射射束通過第二 AOD 的同時產生經干擾聲音波形，所述經干

擾聲音波形在此處足夠以垂直於所述第一方向的第二方向偏轉所述第一經偏轉雷射射束，以產生第二經偏轉雷射射束；以及

使所述第二經偏轉雷射射束通過掃瞄透鏡。

16.如請求項 15 所述的方法，其中產生所述雷射射束包括產生一系列雷射脈衝，所述方法進一步包括選擇性地改變在連續產生的雷射脈衝之間的點尺寸。

17.如請求項 15 所述的方法，其進一步包括在使所述第二經偏轉雷射射束通過所述掃瞄透鏡之後，將所述第二經偏轉雷射射束導引至工件上以在所述工件中切割切口。

18.如請求項 15 所述的方法，其中：

所述雷射射束包括複數個脈衝；以及

從所述第一經偏轉雷射射束和所述第二經偏轉雷射射束所組成的群組中選擇出的至少一者的所述產生是以脈衝-脈衝基礎來實行。